

# Langzeitbewertung der österreichischen Treibhausgase

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

1. HEFT.

MISSION.

## DIE ERGEBNISSE

DER

BEREICHUNG VOM 31. DECEMBER 1890

IN DEN

VERTRATHE VERTRETENEN KÖNIGREICHEN UND LÄNDERN.

I. HEFT.

BEARBEITET

VON DEM

STATISTISCHEN CENTRAL-COMMISSION.





# Forschungsbericht

Langzeitbewertung der atmosphärischen Fracht der Treibhausgase in Österreich zwischen 1890 und 2018 mit besonderer Berücksichtigung der CH<sub>4</sub>-Emissionen der Landwirtschaft

Dr. Thomas Guggenberger

Dr. Georg Terler

Dr. Markus Herndl

Mag. Christian Fritz, MA

DI Florian Grassauer

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

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

#### Zitiervorschlag:

Guggenberger, T.; Terler, G.; Herndl, M.; Fritz, C. und Grassauer, F. (2021): Langzeitbewertung der österreichischen Treibhausgase. Forschungsbericht der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 16 S.

#### Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Landwirtschaft

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

raumberg-gumpenstein.at

Für den Inhalt verantwortlich: Die Autoren

Korrespondierender Autor: Dr. Thomas Guggenberger,

email: thomas.guggenberger@raumberg-gumpenstein.at

Fotonachweis: HBLFA Raumberg-Gumpenstein/Dr. Guggenberger

Gestaltung: Alexandra Eckhart, Andrea Stuhlpfarrer

Alle Rechte vorbehalten

# Langzeitbewertung der atmosphärischen Fracht der Treibhausgase in Österreich zwischen 1890 und 2018 mit besonderer Berücksichtigung der CH<sub>4</sub>-Emissionen der Landwirtschaft

## *Long-term assessment of the atmospheric load of greenhouse gases in Austria between 1890 and 2018 with a special focus on CH<sub>4</sub> emissions from agriculture*

### **Zusammenfassung**

Aufbauend auf das international angewendete Berechnungssystem für Treibhausgasemissionen und auf überlieferte Viehzählungsdaten wurde ein historischer Referenzwert für CH<sub>4</sub> aus der Tierhaltung in Österreich errechnet. Aus historischen Verbrauchsdaten fossiler Energieträger und der natürlichen Emissionslage einer extensiven Landwirtschaft wurde ein allgemeiner Referenzwert für CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O festgelegt. Für CH<sub>4</sub> aus der Tierhaltung wurde im Jahr 1890 ein Emissionswert von 176.800 Tonnen ermittelt. Für N<sub>2</sub>O ergibt sich zu diesem Zeitpunkt eine Emissionsmenge von 5.700 Tonnen, für CO<sub>2</sub> bereits 7.000.000 Tonnen. Für jedes Jahr zwischen 1890 und 2018 wurde im nächsten Schritt für jedes Treibhausgas sowohl die Emissionsmenge als auch die Senke in der Form eines atmosphärischen Abbaus oder einer biologischen Bindung modelliert. Emissionen abzüglich der Bindung können als zusätzliche atmosphärische Fracht bezeichnet werden. Die Langzeitbilanzierung der atmosphärischen Fracht ergibt zwischen Emission und Bindung/Abbau folgende Emissionsüberhänge: CO<sub>2</sub>: 4.309 Mt, N<sub>2</sub>O: 0,446 Mt, CH<sub>4</sub>: 0,263 Mt. Umgerechnet auf ihren Strahlungsantrieb bedeutet das in einem 20-jährigen Bewertungszeitraum folgende Verteilung der Gesamtwirkung auf die Klimaerwärmung: CO<sub>2</sub>: 96,86 %, N<sub>2</sub>O: 2,65 %, CH<sub>4</sub>: 0,50 %. Diese Ergebnisse weichen von einer einzeljährigen Interpretation der Berichterstattung im National Inventory Report (UBA, 2020b) deutlich ab, weil der dortigen Methodenkonvention zufolge die Bindung der Atmosphäre nicht ausreichend berücksichtigt wird. Für die Landwirtschaft bedeutet der geringe Beitrag von CH<sub>4</sub> eine Priorisierung der Klimaschutzmaßnahmen in Richtung N<sub>2</sub>O. Der Anteil der Landwirtschaft an der zusätzlichen atmosphärischen Fracht beträgt rund 3,5 %. Anstrengungen für einen Verzicht auf fossile Energieträger betreffen alle Sektoren und sind eine zentrale Zukunftsaufgabe in Österreich.

Schlagwörter: Klimaschutz, Netto-Null, Nutztierhaltung, Methan

### Summary

Based on the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories and historical livestock data from 1890, a historical reference value for CH<sub>4</sub> from livestock farming in Austria has been calculated. A general reference value for CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O was determined from historical consumption data of fossil energy sources and the natural emission situation of extensive agriculture. For CH<sub>4</sub> from animal husbandry, an emission value of 176,800 tonnes was determined in 1890. For N<sub>2</sub>O we calculated an emission quantity of 5,700 tonnes for CO<sub>2</sub> of 7,000,000 tonnes. For each year between 1890 and 2018 we modeled model both the emission quantity and the sink in the form of atmospheric depletion or biological binding for each greenhouse gas. Emissions minus sequestration can be referred to as additional atmospheric freight. The long-term balance of the atmospheric flux results in the following emission overhangs between emission and binding/degradation: CO<sub>2</sub>: 4,309 Mt, N<sub>2</sub>O: 0.446 Mt, CH<sub>4</sub>: 0.236 Mt. Converted to their radiative forcing, this means the following distribution of the total effect on climate warming in a 20-year assessment period: CO<sub>2</sub>: 96.86 %, N<sub>2</sub>O: 2.65 %, CH<sub>4</sub>: 0.50 %. These results differ significantly from a single-year interpretation of the National Inventory Report (UBA, 2020b) reporting, because, according to the methodological convention there, atmospheric sequestration is not taken into account sufficiently. For agriculture, the low contribution of CH<sub>4</sub> suggests prioritization of climate protection measures in the direction of N<sub>2</sub>O. The share of agriculture in the additional atmospheric load is around 3.5 %. Efforts to abandon fossil fuels are a central task for all sectors in the future in Austria.

Keywords: Climate protection, Net-Zero, Animal production, Methane

## Einleitung

Österreich verpflichtet sich im Rahmen seiner nationalen Gesetze, als Folge der Ratifizierung einer Reihe europäischer und völkerrechtlicher Verträge, zur Berichterstattung über die jährlichen Treibhausgasemissionen. Das Umweltbundesamt wurde mit der Erfüllung dieser Aufgabe beauftragt und erstellt dafür mit dem *National Inventory Report* (NIR) jährlich ein Dokument zur internationalen Verwendung (UBA, 2020b). Die grundlegenden Berechnungen beruhen auf der nationalen Feststellung von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren in Abstimmung mit nationalen Experten. Die IPCC-Guidelines (IPCC, 2006, 2019) dienen dabei als allgemein anerkannte Vorgehensweise. Alle Berechnungen werden für jeweils ein Jahr erstellt. Zwischen den einzelnen Jahren besteht keine Verbindung und historische Referenzwerte für einzelne Treibhausgase in der vorindustriellen Zeit werden weder festgestellt noch berücksichtigt.

Die aus der globalen Entwicklung der Klimaerwärmung ablesbaren Handlungsempfehlungen werden für Österreich vom Nationalrat im jeweils gültigen Klimaschutzgesetz (KSG), genauer in Anhang 2, in der Form maximaler Emissionspfade verschiedener Sektoren festgelegt. Deren Berechnung beruht auf dem NIR und wird für die verschiedenen Sektoren leicht modifiziert und veröffentlicht (UBA, 2020a). Für die Überschreitung der Emissionspfade sind Zahlungen vorgesehen. Die Festlegung der Reduktionspfade resultiert aus gesellschaftlichen und politischen Überlegungen zur Klimaneutralität vor dem Hintergrund des globalen Erwärmungsbeitrages der einzelnen Sektoren und Treibhausgase; in der Landwirtschaft insbesondere Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O). Eine Grundlage stellt das Konzept der Netto-Null Emissionen dar. Netto-Null CO<sub>2</sub>-Emissionen sind erreicht, wenn die anthropogenen Emissionen durch den anthropogenen Abbau über einen bestimmten Zeitraum weltweit ausgeglichen werden (Box SPM.1: Core Concepts) (IPCC, 2018). Die Frage einer Bewertung der historischen Veränderung von Treibhausgasen sowie des atmosphärischen Abbaus von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O wurden bislang nicht diskutiert und es sind uns hierzu auch keine Berechnungen bekannt.

## Fragestellung

Dieser Beitrag schließt diese Lücke, liefert Ergänzungen zu den NIR-Berechnungen und soll folgende Ergebnisse beitragen:

- a) Festlegung eines Referenzzeitpunktes  $t_0$  ab dem die anthropogenen Treibhausgas-Emissionen die Bindung bzw. den Abbau in der Biosphäre und in der Atmosphäre übersteigen.
- b) Berechnung eines historischen Referenzwertes für die CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Tierhaltung und Wirtschaftsdüngerlagerung im Sektor der österreichischen Landwirtschaft entsprechend der Vorgehensweise des UBA bei der Erstellung des NIR; Gegenüberstellung der historischen und gegenwärtigen CH<sub>4</sub>-Emissionen der österreichischen Tierhaltung, als Basis für eine Netto-Null Berechnung im Sinne des IPCC Grundlagenreports, für die Konferenz von Paris (IPCC, 2018). Modellierung von Netto-Null-Emissionen zum Zeitpunkt  $t_0$  für CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O als Summe aller Wirtschaftssektoren.



CO<sub>2</sub> festgelegt, ist das der Zeitpunkt zu dem erstmals so viel CO<sub>2</sub> aus fossiler Energie freigesetzt wurde, dass Bio- und Hydrosphäre dieses nicht mehr binden konnten und die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre über das Niveau der natürlichen Schwankung hinaus angestiegen ist.

Die Messungen der Mission Vostok legen für ein sehr langes Intervall [400.000 A.C. – A.D.] einen atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Wert von 232 ± 28 ppm fest (Barnola et al., 2003). Die Messreihe am Mauna Loa begann 1958 mit einem Wert von 314,2 ppm und hatte in den ersten Jahren einen jährlichen Zuwachs von 1,49 ppm (Keeling, 1960). Eine lineare Extrapolation würde das Vertrauensintervall der Messungen der Mission Vostok etwa im Jahr 1900 unterschreiten. In vielen Quellen des IPCC wird auch das Jahr 1850 als Beginn einer effektiven Industrialisierung genannt. Im Kronland der Habsburgermonarchie waren im Jahr 1870 rund ¼ des späteren Eisenbahnnetzes errichtet (Wandruszka und Urbanitsch, 1973). Das ist ein recht verlässliches Zeichen dafür, dass die Mitte des 19. Jahrhunderts als Ausgangspunkt der industriellen Emissionen genannt werden kann. Für die Festlegung eines historischen Referenzzeitpunkts für CH<sub>4</sub>-Emissionen in der Landwirtschaft ist diese Herleitung hilfreich, obwohl die Grundkonzeption nur zu Teilen übertragbar ist. CH<sub>4</sub> ist historisch biogenen Quellen zuzuschreiben. So bestimmen unter anderem die Wiederkäuerherden, die über sehr lange Zeit die fruchtbaren Böden der nationalen Grasgebiete aufgebaut haben, den Grundpegel der CH<sub>4</sub>-Emissionen. Per definitionem wechseln diese Emissionen mit der Zählung der Wiederkäuer durch den Menschen von den natürlichen Emissionen zu den anthropogenen und werden damit zu menschlich verursachten Treibhausgasen. Die Mission Vostok gibt für CH<sub>4</sub> einen Basiswert von 550 ppb an, Mauna Loa für das Jahr 1984 einen Wert von 1.645 ppb bei einer Wachstumsrate von 6,5 ppb/Jahr. Unter der vereinfachenden Annahme von Linearitäten würde sich mit dieser Wachstumsrate für 1850 ein Wert errechnen, der nicht weit vom Basiswert der Mission Vostok entfernt liegt.

Die Festlegung eines Referenzzeitpunktes für landwirtschaftliche CH<sub>4</sub>-Emissionen mit dem Ziel einer Errechnung von Netto-Null CH<sub>4</sub>-Emissionen kann damit der Definition von Netto-Null CO<sub>2</sub>-Emissionen folgen. Wegen der exzellenten Datelage zu den sektoralen Aktivitäten im Jahr 1890 (Band 34, Heft 1, Viehzählung vom 31. December 1890) (Österreichische Statistik, 1890) wird allerdings darauf verzichtet, die Ausgangsdaten für das Jahr 1850 zu rekonstruieren. Vielmehr wird der Referenzzeitpunkt t<sub>0</sub> für die CH<sub>4</sub>-Emissionen mit dem Jahr 1890 angenommen und fällt damit in die frühindustrielle Phase in Österreich.

## **b) Berechnung eines Wertes für die THG-Emissionen im Jahr 1890 und Gegenüberstellung mit 2018**

Die Berechnung der CH<sub>4</sub>-Emissionen der Landwirtschaft in Österreich im Jahr 1890 folgt in Schema und Vorgehensweise den IPCC-Guidelines (Kapitel 10.3, 10.4/VOL4/IPCC 2006/2019) und entspricht damit der Methode des UBA bei der Erstellung des NIR. Über die aktuell umgesetzte Vorgehensweise hinausreichend wurde durchgängig für alle Tierarten die Tier 2-Methode angewendet.

Die Berechnung der Treibhausgasemissionen erfolgt anhand von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren, also beispielsweise aus der Verknüpfung von Tierzahlen

nach Tierkategorie und Emissionsfaktoren pro Tier. CH<sub>4</sub> entsteht in der Landwirtschaft durch die enterogene Fermentation von faserreichem Futter im Pansen von Wiederkäuern und aus Emissionen im Wirtschaftsdüngermanagement. Ersteres wird durch die Futterumsatzmenge, durch die Futteraufnahmekapazität des einzelnen Tieres und durch die Futterqualität bestimmt, letzteres durch die Menge und Verdaulichkeit des Futters und die Art der Wirtschaftsdüngerlagerung. Für alle Größen wurden in *Tabelle 1* Werte zusammengestellt (die Primärliteratur liegt bei den Autoren auf), wobei folgende Schritte durchgeführt wurden:

- Die Herdengröße wurde auf Bezirksebene aus der Primärdatenquelle im Jahr 1890 übernommen.
- Für die einzelnen Tierkategorien wurde ein Lebendgewicht (LG) auf der Basis von historischen Quellen definiert. Dieses Gewicht bildet in der Form des metabolischen Lebendgewichtes (LG<sup>0,75</sup>) die Grundlage für die Bestimmung der Futteraufnahmekapazität. Abgeleitet aus der gegenwärtigen Situation für die einzelnen Tierarten wird ein Futterbedarf zwischen 90 und 130 Gramm Futter/LG<sup>0,75</sup> angenommen. Dabei wurde neben der Produktionsleistung auch die Arbeitsleistung der Tiere grob berücksichtigt.
- Als Futterqualität wurde für die einzelnen Tierarten eine Mischung aus wertiger Weide und minderwertigem Winterfutter festgelegt. Dies betrifft die Gesamtenergie (GE) des Futters und die Verdaulichkeit.
- Als Wirtschaftsdüngerlager wurde eine Mischung aus Weide und Festmist/Jauche gewählt.
- Die Punkte 1-4 wurden für den österreichischen Tierbestand im Jahr 1890 und im Jahr 2018 durchgeführt, letzteres auf der Basis von INVEKOS-Daten (INVEKOS, 2018) und dem NIR. Die Berechnung wurde in beiden Fällen ohne die Daten aus dem Burgenland durchgeführt, weil diese für das Jahr 1890 nicht verfügbar sind.
- Das Modell für das Jahr 1890 wurde anhand der Ergebnisse aus INVEKOS und NIR im Jahr 2018 kalibriert, dann wurde das Jahr 1890 berechnet.

Wie *Tabelle 1* zeigt, unterscheiden sich die Hauptkategorien in ihrer Häufigkeit in den beiden Perioden erheblich. Die Anzahl an Tieren war 1890 insgesamt höher,

Tabelle 1: Eckdaten zu Bewertung des historischen Referenzwertes für CH<sub>4</sub>

Hauptkategorien*	Anzahl		Lebendgewicht		Futteraufnahme		CH <sub>4</sub> enterische Fermentation		CH <sub>4</sub> Gesamt	
	1890	2018	1890	2018	1890	2018	1890	2018	1890	2018
	Stück		kg		kg TM/Tag		kg CH <sub>4</sub> /Tier/Jahr		kg CH <sub>4</sub> /Tier/Jahr	
Pferde	270.681	70.891	360	462	8,1	9,2	24,0	27,1	26,7	30,5
Milchkühe	1.049.771	736.287	420	616	10,7	13,4	81,7	103,3	87,3	117,3
Jungrinder <sup>#</sup>	677.200	1.137.855	284	329	6,5	8,2	49,9	63,1	51,6	70,0
Ochsen und Stiere <sup>#</sup>	517.381	17.279	351	566	8,1	11,4	61,9	90,8	63,5	95,5
Schweine	1.275.465	2.741.350	60	48	2,1	1,7	1,5	1,3	2,5	2,4
Schafe	567.100	409.715	28	37	1,1	1,3	7,9	9,8	8,1	10,0
Ziegen	238.607	96.455	30	37	1,3	1,7	9,7	12,9	10,0	13,2

\* Die hier dargestellten Hauptkategorien bestehen 1890 aus 23 und 2018 aus 54 Einzelkategorien. Alle Parameter wurden an die Einzelkategorie angepasst, die hier dargestellten Werte entsprechen somit dem gewichteten Schnitt jeder Hauptkategorie.

<sup>#</sup> Die Alterskategorien wurden so abgegrenzt, dass Ochsen und Stiere älter als 2 Jahre sein müssen.

das Gewicht und damit das Emissionspotenzial pro Tier aber deutlich geringer. Insgesamt bietet der Vergleich der Perioden eine Liste von aggregierenden bzw. gegenläufigen Einflüssen, die das Endergebnis maßgeblich mitbestimmen.

Anhand dieses Modells beträgt der historische Referenzwert für die CH<sub>4</sub>-Emissionen der österreichischen Landwirtschaft auf Basis der Viehzählung vom 12. Dezember 1890 ohne Berücksichtigung der Emissionen im Burgenland in Summe 176.800 Tonnen. Für das Jahr 2018 beträgt der gemäß NIR berechnete Wert 186.540 Tonnen.

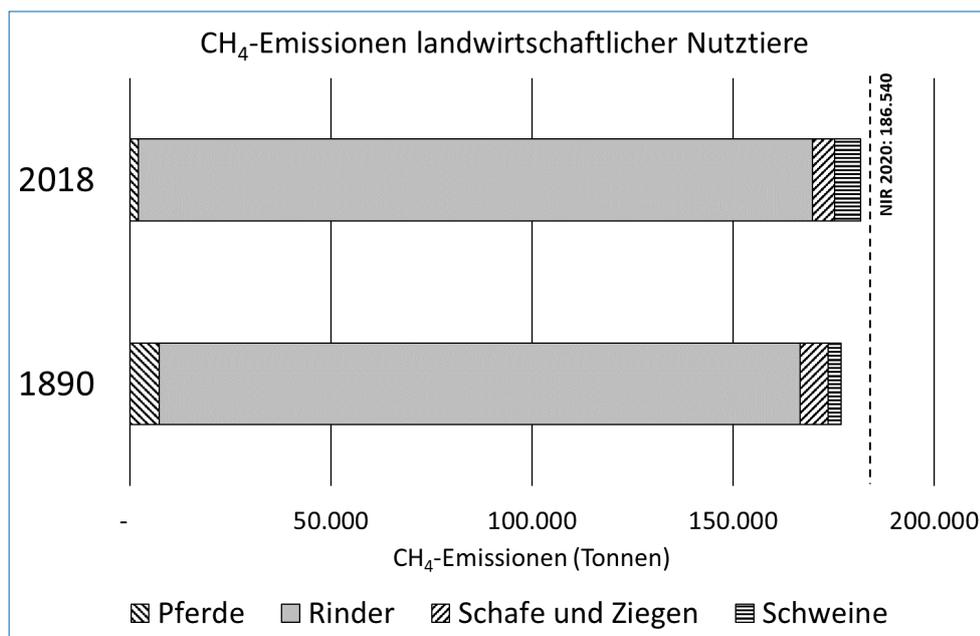


Abbildung 2: CH<sub>4</sub>-Emissionen landwirtschaftlicher Nutztiere in Österreich in den Jahren 1890 und 2018 als Teilaspekt der Langzeitbewertung

**Bildbeschreibung:** Die Summenwirkung aus der Multiplikation von Herdengröße und Emissionspotenzial zeigt deutlich die historische und gegenwärtige Bedeutung der Rinderhaltung für die CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Landwirtschaft. Auch wenn sich die Struktur der Pferdehaltung deutlich vom Arbeits- zum Sportpferd gewandelt hat und die Renaissance der Haltung kleiner Wiederkäuer zu einer Veränderung der Emissionen in diesem Bereich geführt hat: Entscheidend für die Gesamtsituation ist die Rinderhaltung. Über 200.000 Mutterkühe tragen derzeit in Österreich über ihre Emissionslast unterdurchschnittlich zur Gesamtfracht bei. Der hohe Futterdurchsatz, auch wenn aus Produktionsgründen gewünscht, ist der zentrale Treiber für die CH<sub>4</sub>-Emissionen. Das gilt besonders für Milchkühe mit hohen Leistungsansprüchen. In Summe liegt die Emissionsberechnung für 1890 sehr nahe an den Emissionsberechnungen des NIR im Jahr 2018, veröffentlicht im Report 2020.

Tabelle 2: Emissionen im Jahr 1890 als Netto-Null-Referenz und Emissionen im Jahr 2018

	CO <sub>2</sub> <sup>1</sup>	N <sub>2</sub> O <sup>1</sup>	CH <sub>4</sub> <sup>2</sup>
Emissionen zum angegebenen Zeitpunkt (Mt)			
Emissionen <sub>1890</sub>	7,000	0,006	0,177
Emissionen-Landwirtschaft <sub>2018</sub>		0,008	0,187
Emissionen-Gesamt <sub>2018</sub>	66,565	0,012	0,253
Überschreitung (%)			
Landwirtschaft <sub>2018</sub>		43,9	5,5
Gesamt <sub>2018</sub>	850,9	102,9	43,1

<sup>1</sup> Alle Sektoren, <sup>2</sup>Landwirtschaft - Datenquelle 2018: (UBA, 2020)

Die Berechnung eines historischen Referenzwert im Jahr 1890 für CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O wurde nicht für den Sektor Landwirtschaft, sondern ganz allgemein gelöst. Grundlage für die Bewertung von CO<sub>2</sub> ist der historische Inlandsverbrauch von fossilen Energieträgern. Für N<sub>2</sub>O wurden mit den Emissionsdaten des Umweltbundesamtes ab 1990 die Gegenwart und mit Forschungsdaten aus extensiven Bewirtschaftungssystemen (DOC-Versuch, Fibl) die Vergangenheit abgebildet. Über diese Kurve wurde noch der Verbrauch an mineralischen N-Düngern gelegt. In *Tabelle 2* werden die Ergebnisse für das Jahr 1890 sichtbar. Sie betragen 7.000.000 Millionen Tonnen für CO<sub>2</sub> und 5.700 Tonnen für N<sub>2</sub>O.

Wir betrachten die Emissionen im Jahr 1890 als Netto-Null-Ziele für die Zukunft, wollen nun aber auch noch Abweichungen zu den aktuellen Emissionen bewerten. Für CO<sub>2</sub> ist das einfach, weil dessen Emissionen ein Abbild der gesellschaftlichen Entwicklung sind. Bei N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> müssen wir 1890 von von einer stark landwirtschaftlich geprägten Wirtschaft ausgehen. Das ist heute nicht mehr so. Deshalb wollen wir mit den heutigen Daten des Umweltbundesamtes zwei Vergleiche anstellen. Einen auf landwirtschaftlicher Ebene und einen bei den Gesamtemissionen. In der absoluten Betrachtung überschreiten die nationalen CH<sub>4</sub>-Emissionen Netto-Null um +43,1 %. N<sub>2</sub>O liegt bei +102,9 % und müsste noch halbiert werden um Netto-Null zu erreichen. CO<sub>2</sub> ist mit +850,9 % weit außerhalb jeder Vorstellung eines Netto-Null-Zieles. Wir können aber auch die aktuellen Emissionen mit eben der im Jahr 1890 sehr landwirtschaftlichen Gesellschaft vergleichen und stellen fest, dass wir Netto-Null bei CH<sub>4</sub> nur um +5,5 % und bei N<sub>2</sub>O nur um +43,9 % verfehlen.

### **c) Aggregation der jährlichen Emissions- und Bindungs-/Abbaumengen ab dem historischen Referenzwert bis in die Gegenwart**

Die Erwärmung des Klimas als Folge der Erhöhung des Strahlungsantriebs in der Atmosphäre basiert auf einer langen, andauernden Intensivierungsphase der globalen Wirtschaft. Die Emission des Treibhausgases CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung fossiler Energieträger nimmt dabei eine zentrale Rolle ein. N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> sind meist biologischen Ursprungs, ihr Ausmaß und ihre Klimawirkung werden aber ebenso von der fossilen Energiewirtschaft angetrieben. Es sind nicht Treibhausgase per se, die den Strahlungsantrieb in der Atmosphäre erhöhen, sondern die Überschreitung jener Mengen, die durch biologische oder atmosphären-chemische Prozesse rasch wieder ein- bzw. abgebaut werden können. Für die einzelnen Treibhausgase der österreichischen Landwirtschaft sind folgende Prozesse von Bedeutung:

- CO<sub>2</sub>: Der Kohlenstoff-Kreislauf bestimmt über die Bindung von CO<sub>2</sub> und dessen Verbleib in der Atmosphäre. Nach IPCC (2013) sind derzeit 90 % der rund 43 Billionen Tonnen an C in den Ozeanen gespeichert. Die verbleibenden 10 % des an Land gebundenen C finden sich zu 46 % im Boden und zu 27 % in den fossilen Lagern. Die Atmosphäre und die Vegetation halten einen Anteil von 14 bzw. 13 %. Die bisher aus fossilen Lagern und Landnutzungsänderung freigesetzte Menge beträgt rund 1 % des Gesamtpools. 60 % dieser Menge belastet die Atmosphäre, 40 % trägt zur Versauerung der Meere bei. Zwischen den Hauptpools bestehen Auf- bzw. Abbauprozesse mit verschiedenen Komplexitäten und Dynamiken. Aus Sicht des Klima- und Umweltschutzes ist eine Bindung

von C in Vegetation oder Boden/Erde am günstigsten. Kurzfristig kann C in der Vegetation gebunden werden, wobei jedoch die C-Bindung mengenmäßig und zeitlich begrenzt ist. Eine langfristige Bindung von C ist nur im Boden bzw. in der Erde möglich. Wir müssen jedoch annehmen, dass die Zeiträume für die stabile Wiedereinlagerung von C aus fossilen Quellen aus der Sicht eines Menschenlebens sehr lange sind. Das IPCC hat sich zuletzt im Jahr 2007 (IPCC, 2007) zur Lebensdauer von CO<sub>2</sub> geäußert. Dabei wurden mindestens 500 Jahre angenommen. Joos et al. (2013) hat in einer Simulation berechnet, dass bei einem sofortigen und vollständigen Verzicht auf fossile Energie in 2.000 Jahren immer noch bis zu 40 % des zusätzlichen CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre zu finden sind. In dieser Arbeit wurden die ursprünglichen Annahmen des IPCC mit 500 Jahren übernommen. Als Näherungsgröße würde dies bedeuten, dass jährlich 0,2 % der CO<sub>2</sub>-Gesamtemission wieder gebunden werden.

- N<sub>2</sub>O: Lachgas entsteht im Boden als Nebenprodukt bei der mikrobiellen Umsetzung von Stickstoff, v.a. durch die Nitrifikation und die Denitrifikation. Denitrifikation trägt den Großteil zur gesamten N<sub>2</sub>O-Emission bei, während eine weitere Quelle auch die Nitrifizierer-Denitrifikation darstellt. Der Abbau von N<sub>2</sub>O findet fast ausschließlich in der Stratosphäre statt. Hochenergetische Teile des elektromagnetischen Strahlungsspektrums des Sonnenlichtes spalten N<sub>2</sub>O im Prozess der Photolyse auf und zerstören dabei deren molekulare Struktur (Rast, 2014). Ein weiterer Pfad des N<sub>2</sub>O-Abbaus führt über eine Oxidation mit atomarem Sauerstoff. Beide Prozesse finden global und dauernd statt und bauen dabei jedes Molekül in durchschnittlich 126 Jahren ab. Jährlich werden so 0,86 % der Gesamt-N<sub>2</sub>O-Emission wieder aufgelöst.
- CH<sub>4</sub>: Bestimmte Quellen von CH<sub>4</sub> in Österreich wurden unter Punkt a) ausführlich dargelegt. Zusätzliche Emissionen anthropogener Herkunft entstehen aber auch in der Abfallwirtschaft auf den nationalen Deponien und bei der Gas- und Biomasseverbrennung. CH<sub>4</sub> wird in der Atmosphäre in einer sehr kurzen Zeit von durchschnittlich 12 Jahren bei der chemischen Reaktion mit dem Hydroxyl-Radikal OH zerlegt (Rast, 2014). Dabei entsteht auch CO<sub>2</sub>, das wegen seiner Zuordnung zu den biogenen Stoffwechselprodukten der Respiration nicht zu den fossilen Treibhausgas-Emissionen gezählt werden kann. Geringe Mengen von CH<sub>4</sub> werden auch bodennah wieder eingebaut. Jährlich werden so 8,3 % der Gesamt-CH<sub>4</sub>-Emissionen wieder aufgelöst.

Aus einer umfassenden Sammlung an Stoffstromdaten für Erdöl, Erdgas, Steinkohle, Mineraldünger und Tierbestände wurden die verschiedenen Emissionslinien für CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> modelliert und in *Abbildung 3* dargestellt. Zu den Ausgangswerten im Jahr 1890 ist folgendes zu sagen: Die Nutzung fossiler Energie kam in Österreich spät in Schwung, allerdings könnte der Wert von 1890 für die CO<sub>2</sub>-Emissionen auch doppelt so hoch sein. Die CO<sub>2</sub>-Kurve verläuft in Folge der beiden Weltkriege anfangs sehr flach und steigt erst ab den späten „1940iger“-Jahren an. Die Tierhaltung als mengenmäßig wichtigste Quelle der CH<sub>4</sub>-Emissionen wurde in Punkt b) dieser Arbeit verlässlich modelliert. Die N<sub>2</sub>O-Emissionen beginnen auf dem Basisniveau der Nutztierhaltung und steigen ab etwa 1930 kontinuierlich an. Vor dieser Zeit bestehen große Unsicherheiten.

Die Bindung von CO<sub>2</sub> (bzw. der Abbau von N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>) errechnet sich aus der im jeweiligen Jahr kumulativen Gesamtveränderung auf Basis der Lebensdauer der einzelnen Treibhausgase (LT). Wie bereits erwähnt beträgt die Annahme für CO<sub>2</sub> 500 Jahre. Gemäß IPCC wird N<sub>2</sub>O in 126 Jahren und CH<sub>4</sub> in 12 Jahren abgebaut. Weil für CH<sub>4</sub> die Abbaupzeit kurz ist, kann eine Formel am Beispiel CH<sub>4</sub> im Jahr 1902 die Methode gut erklären. In den Jahren zwischen 1890 und 1902 nahmen die Emissionen von 192 auf 216 kt zu.

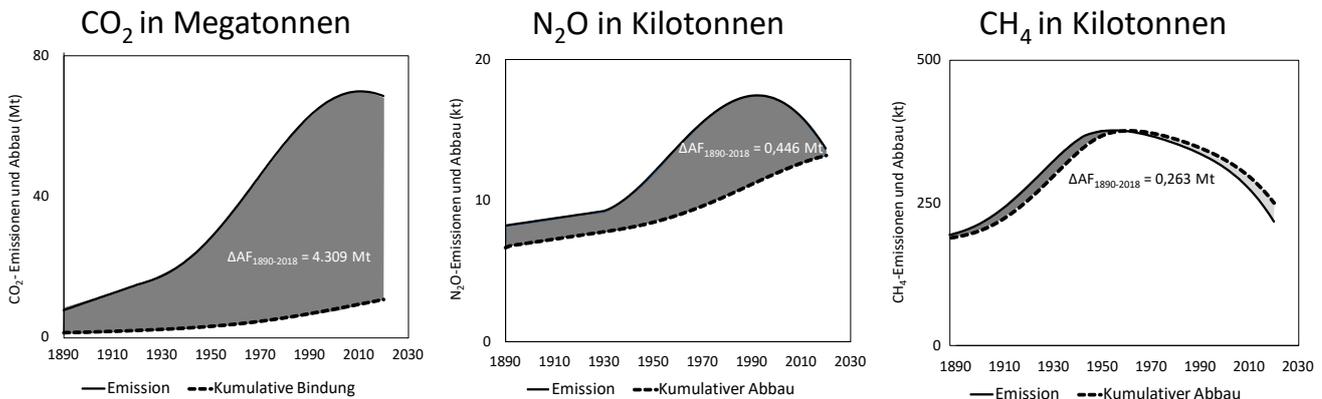
Formel 1: Berechnung des Abbaus von CH<sub>4</sub> im Jahr 1902 auf der Basis der Emissionen in den Vorjahren und der Lebensdauer von 12 Jahren

$$\text{Bindung}_{y1902} = 205,7 \text{ kt} = \frac{192}{12} + \frac{195}{12} + \frac{197}{12} + \frac{199}{12} + \frac{201}{12} + \frac{203}{12} + \frac{205}{12} + \frac{207}{12} + \frac{210}{12} + \frac{212}{12} + \frac{214}{12} + \frac{216}{12}$$

Da nicht nur das 1/12 des letzten Jahres, sondern jedes Jahres der vergangenen 12 Jahre in der Atmosphäre aufgelöst wurde, beträgt die Bindung im Jahr 1902 in Summe 205,7 kt. Für CH<sub>4</sub> besteht also ein natürlicher Kreislauf zwischen terrestrischer Emission und atmosphärischem Abbau, der so lange für einen Ausgleich sorgt, als die Emissionen die Möglichkeiten der Atmosphäre nicht überfrachten. Entsprechend der Ausführungen unter Punkt a) liegt in Österreich für CH<sub>4</sub> aus der Tierhaltung eine konstante Emissionsbelastung vor. Betreffend den globalen Abbau scheint sich die atmosphärische Hydroxyl-Radikal Reaktion eher zu verstärken als abzuschwächen (Stevenson et al., 2020). Die maximale, für einen Strahlungsantrieb wirksame Gesamtfracht für CH<sub>4</sub> besteht in Österreich aus der Summe der letzten 12 Emissionsjahre. Das Konzept des Kreislaufes (Jardine et al., 2006) kann in *Abbildung 3*, rechts, auch an der Symmetrie der Kurven erkannt werden.

Abbildung 3: Modell zu Emission und Bindung/Abbau verschiedener Treibhausgase in Österreich zwischen 1890 und 2018

Was für CH<sub>4</sub> gilt, das gilt im Grunde auch für die anderen Treibhausgase. Allerdings verschieben sich in *Abbildung 3* die kumulative Bindung/Abbau von CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O für viele Jahre nach rechts und sind deshalb kaum mehr sichtbar. Wie in *Abbildung 1* bzw. in nebenstehender Formel dargestellt, kann die veränderte atmosphärische Fracht ΔAF zwischen dem Referenzzeitpunkt t<sub>0</sub> und dem ge-



suchten Zeitpunkt  $t_x$  aus der Summe der potenziellen jährlichen Bilanzen zwischen der Emission  $E$  und dem Abbau, das ist der Ausdruck in der inneren Klammer, gebildet werden. Zur Berechnung der vollen Abbaurates muss das Emissionsverhalten bis zum Zeitpunkt  $t_0-LT$  grob bekannt sein. Die Berechnung der Bindung wurde bereits im Beispiel unter Formel 1 ausgeführt.

Formel 2: Berechnung der atmosphärischen Fracht (AF) zum Zeitpunkt  $x$  für die Emissionen (E) eines Treibhausgases mit einer Lebensdauer  $LT$

$$\Delta AF_x = \sum_{n=t_0}^{n \leq t_x} \left( E_n - \left( \sum_{o=n-LT}^{o \leq n} \frac{E_o}{LT} \right) \right)$$

Tabelle 3 zeigt die Daten, die als Grundlage für *Abbildung 3* dienen. Im ersten Block der Tabelle wird die Summe der Veränderung aller Emissionen und Bindungen im Zeitraum zwischen 1890 und 2018 dargestellt. Da sich die Interpretation des NIR im Regelfall nicht an den Emissionswerten für die einzelnen Treibhausgase orientiert, sondern auf das etablierte Charakterisierungsmodell des Global Warming Potential (GWP) zurückgreift, werden die Mengen der Einzelgase mit den GWP-Faktoren multipliziert ( $CO_2$ -Äquivalente). Die Treibhauswirkung von  $CH_4$  und  $N_2O$  beträgt auf Basis des Umrechnungsfaktors ein Vielfaches von  $CO_2$ . Das GWP wurde vom IPCC auf unterschiedliche Basiszeiten normiert. Diskutiert werden aktuell die Vorschläge für das GWP über 20 bzw. 100 Jahre. Im Allgemeinen wird, wenn aktuell von GWP gesprochen wird, ein Zeitraum von 100 Jahren angenommen. Diese Methodik ist im Kontext von Klimaschutzbemühungen insofern unglücklich, weil sie nicht dazu geeignet ist, den Emittenten die gesamte

Tabelle 3: Aggregation einzelner Treibhausgase als atmosphärische Last

<b>Veränderung der atmosphärischen Fracht zwischen 1890 und 2018 und ihre Bewertung als Treibhausgas in absoluter und relativer Form</b>			
	$CO_2$ <sup>1</sup>	$N_2O$ <sup>1</sup>	$CH_4$ <sup>2</sup>
	Mt		
Gesamtemission	4.754	1,663	40,167
Kumulative Bindung	-446	-1,218	-39,904
Atmosphärische Last	4.309	0,446	0,263
	$CO_2$	$N_2O$	$CH_4$
	Faktoren		
GWP <sub>100</sub>	1	265	28
GWP <sub>20</sub>	1	264	84
	$CO_2e$	$N_2Oe$	$CH_4e$
	Mt		
THG <sub>100</sub>	4.309	118	7
THG <sub>20</sub>	4.309	118	22
	$CO_2e$	$N_2Oe$	$CH_4e$
	%		
THG <sub>100</sub>	97,17	2,66	0,17
THG <sub>20</sub>	96,86	2,65	0,50

<sup>1</sup> Alle Sektoren, <sup>2</sup>Landwirtschaft

Konsequenz ihres Handelns zu zeigen. Weil der verfassenden Autorengruppe keine direkte Kennzahl für den Strahlungsantrieb pro Mengeneinheit bekannt ist, wird trotzdem das GWP verwendet. Neben den Werten für 100 Jahre (THG 100) werden zusätzlich auch die Werte für 20 Jahre (THG 20) angegeben, um der Dringlichkeit von Aktivitäten für den Klimaschutz nachzukommen.

Je nachdem ob THG<sub>100</sub> oder THG<sub>20</sub> verwendet wird, erhalten wir ein leicht abweichendes Ergebnis. Die Interpretation ist aber in beiden Fällen die gleiche: CO<sub>2</sub> ist das dominierende Treibhausgas in Österreich. Die dem landwirtschaftlichen Bereich zuzuordnenden Treibhausgase werden von N<sub>2</sub>O dominiert, CH<sub>4</sub> wird in seiner Wirkung als Treibhausgas bedeutungslos, weil es so gut wie keinen noch wirksamen Zuwachs seit 1890 gibt.

## Ergebnisse

In Ergänzung zur jährlichen Inventur der österreichischen Treibhausgase im National Inventory Report (NIR) errechnet dieser Beitrag in Punkt b) für CH<sub>4</sub> aus der Landwirtschaft eine frühindustrielle Emissionsmenge von 176.800 Tonnen CH<sub>4</sub> im Jahr 1890. Dieser Wert liegt sehr nahe an den aktuellen Emissionswerten, weshalb in Punkt c) in der zeitlichen Dynamik im Vergleich zu den Treibhausgasen CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O auch nur eine geringe wirksame Veränderung der atmosphärischen Fracht ( $\Delta AF$ ) von maximal 0,50 % berechnet wurde. Wegen der ungeheuren Emissionsmenge und dem Mangel an effektiven Abbauprozessen gilt CO<sub>2</sub> als zentrales Problem im Zusammenhang mit der Klimaerwärmung. Mit großem Abstand danach folgt N<sub>2</sub>O als weiteres THG mit deutlich geringerem Anteil an der atmosphärischen Belastung in der Langzeitbewertung für Österreich.

## Schlussfolgerungen

1. Eine Interpretation der jährlichen Bilanzierung von Treibhausgaslasten führt zu anderen Ergebnissen als jene der Langzeitbewertung aller Emissions- und Bindungseffekte von der vor- bzw. frühindustriellen Zeit bis zur Gegenwart. Der Grund dafür ist die mangelnde Würdigung des atmosphärischen Abbaus in der einjährigen Berichterstattung gemäß IPCC-Guidelines.
2. Die geringe Differenz zwischen dem frühindustriellen Wert für CH<sub>4</sub> und den aktuellen Emissionen, sowie der geringe Anteil an der Veränderung der Gesamtsituation zwischen 1890 und 2018 von maximal 0,50 % führt dazu, dass die derzeitige Debatte im Themenbereich unverhältnismäßig geführt wird. Die teilweise Elimination aller Emittenten, ein möglicher Vorschlag lautet etwa die Wiederkäuerherde in Österreich um 30 % zu verkleinern, würde zwar in den nächsten 12 Jahren ungefähr eine Reduktion der atmosphärischen Treibhausgasfracht von 1/3 eines Bilanzjahres bringen. Der (nicht abschätzbare) Preis für den unvermeidbaren Zusammenbruch der Ökosystemleistungen im Berggebiet, die massive Schwächung der nationalen Versorgungssicherheit und die Auswirkungen auf andere Sektoren ist angesichts der Erkenntnisse im folgenden Punkt 3 sicher zu hoch. Je nach Geschwindigkeit der gesellschaftlichen Transformation zur alleinigen Nutzung erneuerbarer Energie liegt der Effekt auch nur zwischen 3,2 und 0,8 %.

3. Die Diskussion über den tatsächlichen Treiber der Klimaerwärmung, das ist die Freisetzung von CO<sub>2</sub> aus fossilen Energiequellen, wird in der Öffentlichkeit unter seiner Bedeutung geführt. Das gewohnte Bild einer sich nicht verändernden Berichterstattung verschleiert die Gesamtlast, die sich im Zeitraum seit der frühindustriellen Phase angesammelt hat. Ein Zuwachs von rund 4.300 Mt CO<sub>2</sub> entspricht einer Menge von rund 1.200 Mt Kohlenstoff. Der gesamte Wald in Österreich (Boden und Vegetation) bindet derzeit etwa nur 2/3 dieser Menge. Eine völlige Umwandlung aller Grünlandflächen in Wald hätte nur geringe Effekte in der C-Bindung im Boden und würde trotz einer Bindung von etwa 115 Mt C in der Vegetation am Ende nur maximal 1/10 der langjährigen Emissionen binden. Eine effektive Bindung der fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Biosphäre von Österreich ist sicher nicht möglich.
4. Eine Transformation der österreichischen Landwirtschaft, im speziellen der konventionellen Produktionsformen, ist seit 20 Jahren überfällig. Mit dem Konzept einer „Standortgerechten Landwirtschaft“ (Guggenberger et al. 2020) liegt ein Vorschlag auf dem Tisch, der nicht nur eine Verbesserung der marktwirtschaftlichen Möglichkeiten der Betriebe forciert, sondern auch das Einsparungspotenzial der Landwirtschaft im Hinblick auf die Emission von Treibhausgasen stark erhöht. Vor allem aber steigt die Resilienz der Landwirtschaft gegen die durch eine Klimaerwärmung ausgelösten Ereignisse. Eine proaktive Umsetzung wird zu einer Win-Win-Situation führen. Diese für uns klar sichtbare Chance muss aber von der gesamten Gesellschaft wohl erst erkannt werden.

## Empfehlungen

Wir empfehlen der nationalen IPCC- Schnittstelle das hier vorgestellte Konzept zur Erweiterung der Berichterstattung um die potenziellen Senken. Dies ermöglicht in Zukunft näher an der tatsächlichen Wirkungsgröße, das ist die zusätzliche atmosphärische Fracht, zu argumentieren. Ebenso darf die Darstellung von Netto-Null-Werten empfohlen werden, weil diese Größe die dramatische Abweichung in manchen Bereichen viel besser zeigt als ein Vergleich von einem zum nächsten Jahr.

## Literatur

Barnola, J.M.; Raynaud, D. und Lorius, C. (2003): Historical CO<sub>2</sub> Record from the Vostok Ice Core, St. Petersburg 199226, Russia.

Guggenberger, T.; Fritz, C.; Finotti, E.; Herndl, M.; Ofner-Schröck, E.; Terler, G. und Steinwider, A. (2020): Grundzüge einer standortgerechten Landwirtschaft, Forschungsbericht, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Forschungsgruppe Ökoeffizienz, Irdning-Donnersbachtal, 63 S.

INVEKOS (2018): Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. Geneva, Switzerland, 104 S.

IPCC (2018): Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.

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

IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Cambridge University Press, United Kingdom and New York, 1535 S.

IPCC (2019): Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Genf.

Jardine, C.N.; Boardman, B.; Osman, A.; Vowles, J. und Palmer, j. (2006): methan uk, Environmental Change Institute, University of Oxford, 96 S.

Joos, F.; Roth, R.; Fuglestedt, J.S.; Peters, G.P.; Enting, I.G.; von Bloh, W.; Brovkin, V.; Burke, E.J.; Eby, M.; Edwards, N.R.; Friedrich, T.; Frölicher, T.L.; Halloran, P.R.; Holden, P.B.; Jones, C.; Kleinen, T.; Mackenzie, F.T.; Matsumoto, K.; Meinshausen, M.; Plattner, G.K.; Reisinger, A.; Segschneider, J.; Shaffer, G.; Steinacher, M.; Strassmann, K.; Tanaka, K.; Timmermann, A. und Weaver, A.J. (2013): Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: a multi-model analysis. *Atmos. Chem. Phys.* 13 (5), 2793-2825.

Keeling, C.D. (1960): The Concentration and Isotopic Abundances of Carbon Dioxide in the Atmosphere. *Tellus* 12, 200-203.

Lynch, J.; Cain, M.; Pierrehumbert, R. und Allen, M. (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).

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

Rast, S. (2014): Einführung in die Chemie der Atmosphäre. <https://docplayer.org/19781855-Einfuehrung-in-die-chemie-der-atmosphaere.html>, 01.10-2021.

Stevenson, D.S.; Zhao, A.; Naik, V.; O'Connor, F.M.; Tilmes, S.; Zeng, G.; Murray, L.T.; Collins, W.J.; Griffiths, P.T.; Shim, S.; Horowitz, L.W.; Sentman, L.T. und Emmons, L. (2020): Trends in global tropospheric hydroxyl radical and methane lifetime since 1850 from AerChemMIP. *Atmos. Chem. Phys.* 20 (21), 12905-12920.

UBA (2020a): Klimaschutzbericht 2020, Umweltbundesamt, Wien, 186 S.

UBA (2020b): Austria's National Inventory Report 2020, UBA, Wien, 809 S.

Wandruszka, A. und Urbanitsch, P. (1973): *Das Verkehrswesen: Die Habsburgermonarchie 1848–1918, Band I*, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 666.

## Forschungsbericht

# Langzeitbewertung der österreichischen Treibhausgase

Herausgeber:

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

Druck, Verlag und © 2021