

+1,5°C: Wieviel Treibhausgase dürfen wir noch emittieren?

Hintergrundpapier zu globalen und nationalen Treibhausgasbudgets

Autor_innen:

Karl Steininger, Thomas Schinko, Harald Rieder, Helga Kromp-Kolb, Stefan Kienberger, Gottfried Kirchengast, Claudia Michl, Ingeborg Schwarzl, Sonja Lambert

Besonderer Dank gebührt allen Kolleg_innen der österreichischen Klima- & Transformations-Wissenschaftscommunity, die in dem breiten Kommentierungsprozess mit wertvollen wissenschaftlichen Input beigetragen haben.

Online unter: <https://ccca.ac.at/thg-budget>

ISBN-Nummer: 978-3-200-08813-9

November 2022

Zitierweise: CCCA (2022): 1,5° C: Wieviel Treibhausgase dürfen wir noch emittieren? Hintergrundpapier zu globalen und nationalen Treibhausgasbudgets. K. Steininger, T. Schinko, H. Rieder, H. Kromp-Kolb, S. Kienberger, G. Kirchengast, C. Michl, I. Schwarzl, S. Lambert. Wien: CCCA

CCCA-Konsortium aus Expert_innen von



Inhalt

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	2
Kurzfassung	3
1. Einleitung	4
2. Temperaturerhöhung hängt von kumulativen globalen Emissionen ab	4
3. Das globale Treibhausgasbudget (THG-Budget)	6
4. Kohlenstoffsenken und negative Emissionen	9
5. Skalieren auf die nationale Ebene	10
6. Ein EU-Spezifikum: ETS und non-ETS Sektoren	11
7. Produktions- oder konsumbasierte Emissionen: Wie wird das Budget verbraucht?	11
8. Das österreichische Treibhausgasbudget berechnet mit dem Pro-Kopf-Ansatz	12
9. Skalieren auf die subnationale Ebene	15
10. Reduktionspfade für Österreich	16
11. Erforderliche Emissionsreduktion bis 2030	19
12. Fazit	19
Literatur	21
Glossar	26

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1 Anstieg der globalen Oberflächentemperatur seit 1850-1900	5
Abbildung 2 Veranschaulichung des Treibhausgasbudgets.....	15
Abbildung 3 Treibhausgasemissionen und Reduktionsziele für Österreich	16
Abbildung 4 Auswahl möglicher Treibhausgas-Reduktionspfade	18
Tabelle 1 Globale Treibhausgas- und CO ₂ -Budgets.....	8
Tabelle 2 Treibhausgas- und CO ₂ -Budgets für Österreich ab 2022.....	14

*Begriffe, die mit einem * versehen sind, werden im Glossar erläutert.*

Kurzfassung

Der Weltklimarat (IPCC) wurde im Rahmen des Pariser Klimaabkommens beauftragt, einen Bericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um nicht mehr als +1,5°C gegenüber vorindustriellem Niveau und damit verbundene globale Treibhausgas (THG)-Emissionspfade zu erstellen. Dieser 2018 publizierte Bericht legt mit großer Klarheit dar, dass zahlreiche natürliche Systeme schon bei einem geringeren Temperaturanstieg stärker reagieren als bisher angenommen, und dass bei Überschreiten von +1,5°C globaler Erwärmung nichtlineare Entwicklungen im Klimasystem, sowie in Öko-, Gesellschafts- und Wirtschaftssystemen katastrophale Folgen mit sich bringen können. Werden die von der Klimawissenschaft identifizierten Kippunkte erst einmal überschritten, könnte dies zu einem Dominoeffekt führen, der in eine Heizeit führt. Die nahezu lineare Beziehung zwischen kumulativen anthropogenen CO₂-Emissionen und dem dadurch verursachten Temperaturanstieg macht es möglich globale CO₂-Budgets auszuweisen, also die Menge CO₂, die noch in die Atmosphäre eingebracht werden darf, um das +1,5°C-Ziel mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten einzuhalten. Das in dem Bericht abgebildete **verbleibende globale CO₂-Budget lag 2018 bei 420 GtCO₂** (66% Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung) und wäre bei konstant bleibenden Emissionen noch in diesem Jahrzehnt aufgebraucht. Von diesem globalen Wert kann mit unterschiedlichen Ansätzen unter Berücksichtigung von Fairnessüberlegungen (bspw. pro Kopf) ein nationales Budget berechnet werden. So ergibt sich für **Österreich ab 2022 ein CO₂-Budget von 240 MtCO₂ bzw. 280 MtCO₂eq**, bezieht man **alle THG-Emissionen** mit ein. Trotz der internationalen und nationalen Verpflichtungen zur Reduktion von THG blieben die Emissionen in Österreich auf hohem Niveau und stiegen in den letzten Jahren sogar wieder an (mit Ausnahme des Jahres 2020). Somit wäre das sterreichische THG-Budget bei gleichbleibenden Emissionen bereits Mitte 2025 aufgebraucht. Bei diesen Berechnungen wird angenommen, dass die derzeit bestehenden Senken auf unverändertem Niveau (global und national) wirksam bleiben. Dafür bedarf es zusätzlicher Anstrengung in Österreich angesichts der derzeitigen Bodenversiegelungsraten, landwirtschaftlichen Praktiken, Vernichtung von Wäldern durch Schädlinge und auftretenden Extremereignisse. Zusätzlich ist die Verteilung des nationalen Budgets auf Bundesländerebene entscheidend, um Ländern und Sektoren Planungssicherheit bei ihren THG-Reduktionsmaßnahmen zu ermöglichen. Dies erfordert jedoch weitere Erhebungen und Berechnungen, da eine Ermittlung allein auf Basis produktionsbasierter Emissionsbilanzierung und pro Kopf-Aufteilung für diese Detailebene weder sinnvoll noch aussagekräftig ist.

Die Dringlichkeit für die zeitnahe systematische Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen wird sowohl durch das dahinschmelzende verbleibende nationale THG-Budget als auch die in Österreich immer deutlicher spürbaren Auswirkungen des Klimawandels, v.a. durch Veränderungen in der Häufigkeit und/oder Intensität von klimabedingten Extremereignissen wie Hitzewellen, Drren, Stürmen, Überschwemmungen, Muren und Hangrutschungen sowie Schdlingsbefllen, untermauert. Zusätzlich werden sich die Kosten für die Klimawandelanpassung bis Mitte des Jahrhunderts voraussichtlich auf über 2 Mrd. Euro mehr als verdoppeln, und die Schadenskosten mit 6 bis 12 Mrd. Euro drei- bis sechsmal höher sein als heute.

Der Klimawandel stoppt allerdings nicht an Staatsgrenzen, negative Klimafolgen sind weltweit verteilt, unabhängig vom Ort der THG-Emissionen. Ursachen und Folgen unseres Handelns fallen somit räumlich und zeitlich auseinander, wodurch Länder mit im internationalen Vergleich hohen THG-Emissionen pro Kopf für negative Auswirkungen in anderen Ländern sowohl in der Gegenwart als auch in der Zukunft Mitverantwortung tragen. Hochemissionslndern, zu denen auch Österreich zählt, kommt daher eine besondere Rolle in der Bekämpfung des Klimawandels und seiner Folgen zu. Aufgrund ihres hohen Beitrags zum Klimawandel liegt es daher auch in ihrer Verantwortung Niedrigemissionslndern bei deren sozial-ökologischem Umbau zu unterstützen. Europa hat historisch in vielerlei Hinsicht eine Vorreiterrolle. So sollte Österreich als Teil davon auch beim Klimaschutz im Inland mit gutem Beispiel vorangehen und neben der ambitionierten Zielesetzung auch zügig Maßnahmen umsetzen. Denn je länger wir diese Umsetzung hinauszögern, umso drastischere und teurere Maßnahmen werden notwendig, um den Klimawandel einerseits einzubremsen und andererseits mit dessen Auswirkungen umzugehen.

1. Einleitung

In politischen Programmen und Klimastrategien wird häufig festgelegt, zu welchem Zeitpunkt Netto-Null* Emissionen erreicht werden sollen – die Österreichische Bundesregierung hat sich z. B. vorgenommen, die Treibhausgas*(THG)-Emissionen in Österreich bis 2040 auf „Netto-Null“ zu reduzieren. Während solche Ziele allein häufig schon als Paris-kompatibel* beschrieben werden, zeigt die wissenschaftliche Analyse, dass für eine solche Einordnung eigentlich die jährlichen Reduktionen bzw. genauer die Summe der jährlichen Emissionen bis zur Erreichung von Netto-Null relevant sind. **Für die Einhaltung einer bestimmten maximalen globalen Erwärmung, wie im Pariser Klimaabkommen vorgesehen, ist die gesamte Menge an THG-Emissionen relevant, die noch in die Atmosphäre eingebracht wird und nicht der Zeitpunkt, ab dem keine weiteren THG emittiert werden.** Diese Menge wird als Treibhausgasbudget (THG-Budget) bezeichnet. Auf nationaler Ebene ist daher eine Ergänzung des Netto-Null Zeitpunkts um die Einhaltung des, bis dahin noch verfügbaren nationalen THG-Budgets und die Ermittlung desselben erforderlich. Nationale, regionale, kommunale oder sektorale THG-Budgets lassen sich aus dem globalen THG-Budget ableiten. Die methodischen Ansätze dazu sind wissenschaftlich etabliert, wenn auch bislang international noch nicht verbindlich festgelegt.

In diesem wissenschaftlichen CCCA-Hintergrundpapier wird auf Basis der vorhandenen Literatur dargelegt, wie man aus globalen THG- und CO₂-Budgets auf Budgets für Österreich skalieren kann und welche konkreten Werte sich daraus für Österreich ergeben, um die +1,5°C-Grenze mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten einzuhalten. Die hier genannten Zahlen sind als Richtwerte der Obergrenzen zu verstehen und sollten zur Erreichung der Klimaziele nicht überschritten werden. Neueste Publikationen legen nahe, dass die Budgets noch kleiner sein könnten.

Das vorliegende Papier ist in einem breiten Kommentierungsprozess durch die österreichische Klima- und Transformations-Wissenschaftscommunity entstanden.

2. Temperaturerhöhung hängt von kumulativen globalen Emissionen ab

Für das Ausmaß der globalen Erwärmung und dem damit einhergehenden Klimawandel entscheidend ist die absolute Menge der klimawirksamen Emissionen, der sogenannten THG, die in die Atmosphäre gelangen und so die THG-Konzentration erhöhen. Seit dem Beginn der Industrialisierung Mitte des 19. Jahrhunderts ist vor allem durch Emissionen aus menschlichen Quellen die Kohlendioxidkonzentration (CO₂) um über 45 % von vorindustriell ca. 280 parts per million (ppm) auf mittlerweile über 410 ppm gestiegen (NOAA, 2022). Die höhere THG-Konzentration in der Atmosphäre verstärkt den Strahlungsantrieb („Treibhauseffekt“) und somit steigt die globale Durchschnittstemperatur. Diese globale Erwärmung bewirkt gleichzeitig Veränderungen in einer Reihe weiterer Klimaparameter (z. B. Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Niederschlag), was in Summe das Phänomen des anthropogenen (menschengemachten) Klimawandels darstellt. Soll diese Erwärmung und somit die Auswirkungen des Klimawandels, wie im Pariser Übereinkommen* festgelegt, auf +1,5°C bzw. deutlich unter +2°C begrenzt werden, so muss die Gesamtmenge an THG-Emissionen entsprechend beschränkt werden.

Eine Analyse der bisherigen Daten und Szenarienberechnungen zeigt, dass die globale mittlere Oberflächen-Lufttemperatur (global mean surface air temperature, GSAT) in guter Näherung linear mit der Gesamtsumme der globalen THG-Emissionen seit vorindustrieller Zeit steigt (vgl. Abbildung 1). Unter aktuellen Maßnahmenplänen, ohne zusätzliche Schritte, bewegen wir uns noch in diesem Jahrhundert auf +2,8°C zu (UNEP 2022).

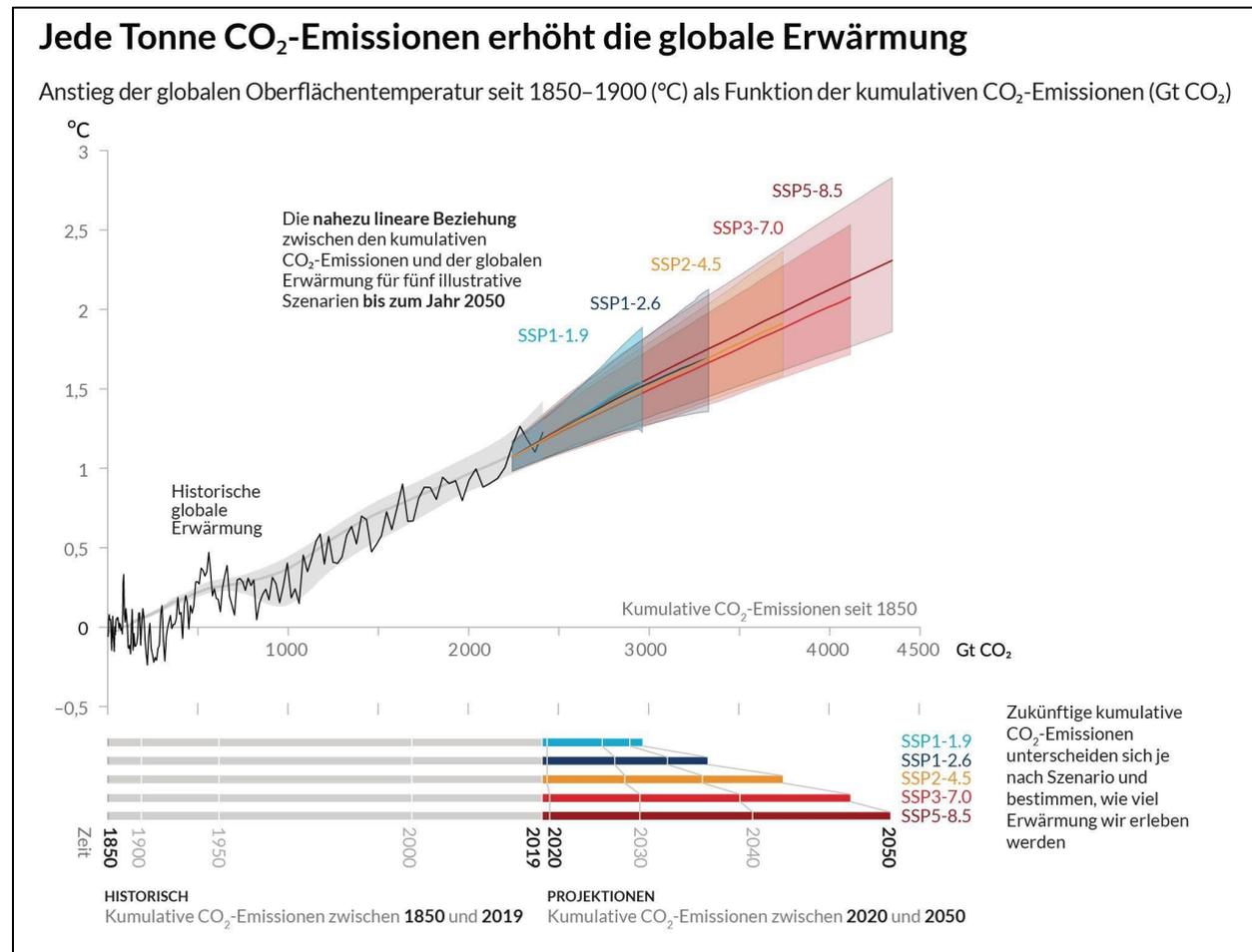


Abbildung 1 Anstieg der globalen Oberflächentemperatur seit 1850–1900 (°C) als Funktion der kumulativen CO₂-Emission (GtCO₂), Quelle: (IPCC, 2021)

Obere Tafel: Historische Daten (dünne schwarze Linie) zeigen den beobachteten Anstieg der globalen Oberflächentemperatur in °C seit 1850–1900 als Funktion der historischen kumulativen Kohlendioxid (CO₂)-Emissionen in GtCO₂ von 1850 bis 2019. Der graue Bereich mit seiner Mittellinie zeigt eine entsprechende Berechnung der historischen, vom Menschen verursachten Oberflächenerwärmung (siehe Abbildung SPM.2). Die farbigen Bereiche zeigen die bewertete sehr wahrscheinliche Bandbreite an Projektionen der globalen Oberflächentemperatur, und die dicken farbigen Mittellinien geben den Median als Funktion der kumulativen CO₂-Emissionen von 2020 bis zum Jahr 2050 für die verschiedenen illustrativen Szenarien (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 und SSP5-8.5, siehe Abbildung SPM.4) an. Für die Projektionen werden die kumulativen CO₂-Emissionen des jeweiligen Szenarios verwendet, und die projizierte globale Erwärmung umfasst den Beitrag aller anthropogenen Antriebsfaktoren. Die Beziehung ist für denjenigen Bereich an kumulativen CO₂-Emissionen dargestellt, für den hohes Vertrauen darin besteht, dass die transiente Reaktion des Klimas auf kumulative CO₂-Emissionen (transient climate response to cumulative CO₂ emissions, TCRE) konstant bleibt, sowie für den Zeitraum von 1850 bis 2050, über den die globalen CO₂-Emissionen bei allen illustrativen Szenarien netto positiv bleiben, da es nur begrenzte Belege für die quantitative Anwendung des TCRE-Konzepts zur Abschätzung der Temperaturentwicklung bei netto negativen CO₂-Emissionen gibt.

Untere Tafel: Historische und projizierte kumulative CO₂-Emissionen in GtCO₂ für die jeweiligen Szenarien

3. Das globale Treibhausgasbudget (THG-Budget)¹

Das „globale Treibhausgasbudget“ (THG-Budget) ist die Gesamtmenge an Treibhausgasen in Tonnen² Kohlendioxid-Äquivalenten (CO₂eq), die weltweit noch in die Atmosphäre gelangen darf, um mit einer spezifizierten Wahrscheinlichkeit die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur, wie 2015 im Pariser Übereinkommen (UNFCCC, 2015) vereinbart, auf deutlich unter +2°C, möglichst nicht mehr als +1,5°C Erwärmung gegenüber dem vorindustriellen Niveau (1850-1900) zu begrenzen.

Das weltweite THG-Budget berücksichtigt alle THG-Emissionen. Neben Kohlendioxid (CO₂) sind das vor allem Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und fluorierte THG (F-Gase), zu welchen vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃) zählen. Die CO₂-Emissionen verursachen mit rund zwei Drittel den Hauptanteil des bisherigen klimawirksamen Strahlungsantriebs³, im letzten Jahrzehnt sogar über 80 % (WMO, 2020) und verbleiben für wesentlich längere Zeit in der Atmosphäre als die meisten anderen THG. Daher fokussieren der Weltklimarat IPCC und wissenschaftliche Publikationen häufig auf das robuster quantifizierbare sogenannte CO₂- bzw. Kohlenstoff-Budget („Carbon Budget“). Bei der Berechnung des CO₂-Budgets werden hinsichtlich der Emissionsmengen der anderen THG bestimmte Annahmen, z. B. zu Reduktionspfaden*, getroffen und anhand ihrer Klimawirksamkeit in Tonnen CO₂-Äquivalente (tCO₂eq) umgerechnet und vom gesamten THG-Budget abgezogen. Das ergibt dann das verfügbare Kohlenstoff-Budget in Tonnen CO₂ (tCO₂).

Das „globale CO₂-Budget“, alternativ (und vereinfachend) auch globales „Kohlenstoff-Budget“ genannt, ist die Gesamtmenge an global noch zulässigen CO₂-Emissionen zur Erreichung der Pariser Klimaziele.

Das CO₂-Budget gibt somit nur die Gesamtmenge an CO₂-Emissionen an, die noch emittiert werden darf, setzt aber bei der Ableitung von Reduktionspfaden implizit voraus, dass zugleich auch die Nicht-CO₂-Emissionen* signifikant reduziert werden, und in die Netto-Null-Emissionsbetrachtung miteinbezogen werden. Das bedeutet, dass auch allfällig verbleibende Tonnen CO₂-Äquivalente aus Nicht-CO₂-Emissionen durch dementsprechend höhere Kohlenstoffbindung* in natürlichen und/oder technologischen Kohlenstoffsenken auszugleichen sind (siehe dazu Kapitel 4).

Da sowohl Daten als auch Modelle immer mit Unsicherheiten⁴ behaftet sind, muss man den Zusammenhang zwischen THG-Budgets und Temperaturanstieg mit Wahrscheinlichkeiten versehen: Das IPCC leitet aus den bisher verfügbaren Studien ab, dass – bezogen auf die mittlere globale Oberflächentemperatur – eine +1,5°C Temperaturerhöhung gegenüber dem vorindustriellen Niveau mit einer **50%igen Wahrscheinlichkeit** eingehalten werden kann, wenn die Gesamtmenge der ab dem Jahr 2018 emittierten CO₂-Emissionen **580 GtCO₂** nicht übersteigt. Die Wahrscheinlichkeit, den

¹ Dieser Abschnitt und die Argumente in den folgenden beruhen insbesondere auch auf Ergebnissen von durch die Stadt Wien (Köppl et al., 2020), die Stadt Graz (Pichler & Steininger, 2019), das Bundesland Steiermark (Steininger, Nabernegg & Lackner, 2022) sowie Mutter Erde (Meyer und Steininger, 2017) finanziell unterstützten Forschungsprojekten.

² Bei weltweiten und nationalstaatlichen Emissionsangaben werden häufig wegen der großen Mengen auch Milliarden Tonnen (Gigatonnen, Gt) oder Millionen Tonnen (Megatonnen, Mt) angegeben (weitere Einheiten GtCO₂eq, MtCO₂eq; GtCO₂, MtCO₂). 1.000 Mt = 1 Gt

³ Ohne getrennte Berücksichtigung des Beitrages des Wasserdampfes als THG, da es sich bei diesem bereits um einen Rückkopplungseffekt handelt.

⁴ Dazu zählen die oben beschriebenen konkreten Reduktionspfade der Nicht-CO₂-THG, die Klimasensitivität aber auch potentielle Freisetzungen von THG z. B. durch Auftauen von Permafrost.

Grenzwert einzuhalten, steigt auf **66%** an, wenn diese Gesamtsumme unter **420 GtCO₂** bleibt (IPCC, 2018)⁵.

Aus anderen wissenschaftlichen Arbeiten sind CO₂-Budgets für weitere Temperaturziele und Emissionsreduktionspfade ableitbar. Eine besondere Bedeutung haben jene erlangt, die zu Ende des Jahrhunderts im Median (50% Wahrscheinlichkeit) ebenfalls eine Temperaturerhöhung innerhalb der +1,5°C Grenze einhalten, auf dem Weg dahin jedoch geringfügiges Übersteigen der +1,5°C Grenze zulassen (d.h. bis zu +1,65°C vorübergehend), und durch Bindung von CO₂ ausschließlich in Naturbasierten Senken⁶ in der zweiten Jahrhunderthälfte kompensieren. Das Überschreiten darf nur geringfügig sein, weil die Bindungsmöglichkeit in Naturbasierten Senken (z. B. Aufforstung und zusätzliche Bindung in Ackerböden durch Humusbildung) beschränkt ist (Warszawski et al., 2021, Figure 1, Panel c).⁷

Rogelj et al. (2019) weisen für diesen Pfad ein globales CO₂-Budget für den Zeitraum 2017-2050 in Höhe von 700 GtCO₂ aus. Soll der Temperaturgrenzwert von +1,5 °C zum Ende des Jahrhunderts mit 67% Wahrscheinlichkeit eingehalten werden, beträgt das globale CO₂-Budget für 2017-2050 lediglich 510 GtCO₂. Diese Werte sind konsistent mit den in IPCC AR6 WGI 2021 publizierten CO₂-Budgets (dort für den Zeitraum ab 2020 angegeben, und daher um die Emissionsmenge 2017-2019 kleiner).

Sowohl die EU als auch Österreich zielen auf Klimaneutralität* innerhalb der ersten Jahrhunderthälfte ab. Dazu ist es notwendig, alle klimawirksamen THG (siehe Kapitel 4) zu berücksichtigen. Daher werden im Folgenden sowohl das verfügbare globale Kohlenstoff- bzw. CO₂-Budget als auch das gesamte THG-Budget als Budgets bis Mitte des Jahrhunderts ausgewiesen.⁸

Anhand des aktuellen globalen CO₂-Emissionsanteils von 70% (UNEP, 2020) an den gesamten globalen THG Emissionen kann aus obigen Daten zum Kohlenstoff-Budget ein THG-Budget in CO₂-Äquivalenten – d.h. für CO₂ und Nicht-CO₂-THG – abgeleitet werden. Das erstgenannte Budget für den Pfad mit **zwischenzeitlicher Temperaturerhöhung um +1,65°C** und einer **50% Wahrscheinlichkeit** der Temperaturzielerreichung (700 GtCO₂) beträgt somit – für alle THG – **1.000 GtCO₂eq**, das letztgenannte mit **66%iger Wahrscheinlichkeit** (510 GtCO₂) beträgt **für alle THG 720 GtCO₂eq**. Für den Pfad ohne zwischenzeitlich geringfügig höheren Temperaturanstieg lässt sich der erstgenannte Wert (580 GtCO₂) in **820 GtCO₂eq** und der letztgenannte Wert (420 GtCO₂) in **590 GtCO₂eq** für ein gesamtes THG Budget umrechnen (IPCC, 2018; NEKP, 2019).

Tabelle 1 fasst die THG- und CO₂-Budgets für das +1,5 °C Ziel des Pariser Abkommens (UNFCCC, 2015) für verschiedene Interpretationen desselben zusammen. Es handelt sich dabei um ein THG-Budget für fossile Emissionen und industrielle Prozess-Emissionen, unter der Annahme, dass Senken im derzeitigen Ausmaß (siehe Kapitel 4) unverändert erhalten bleiben. Das Temperaturziel (Erreichung

⁵ Neueste Schätzungen (Lamboll, et al., 2022 - derzeit im Reviewprozess) gehen sogar von einem noch kleineren Budget von 530 Gt CO₂eq (bei 50% Wahrscheinlichkeit) bzw. 300 GtCO₂eq (bei 66% Wahrscheinlichkeit)

⁶ Zu technologischen Senken im Sinne von Carbon Capture and Storage oder Carbon Capture and Utilisation siehe Kapitel 4

⁷ Warszawski et al. (2021) gehen in einem mittleren Szenario als untere Grenze für das Senken-Potenzial (oder „Speicherungspotenzial“) von 2,5 GtCO₂ pro Jahr aus, auf folgende Senken beschränkt (Carbon direct removal by agriculture, forestry and other land use change CDR(AFOLU)): “The annual CO₂ removal rate in 2050 via agriculture, forestry and other land use (AFOLU). Technologies considered: afforestation and reforestation (AR) and soil carbon sequestration (SCS). Competition for land resources is not considered. CDRAFOLU should be considered a lower bound on CO₂ removal via AFOLU, since CDRAFOLU may still include residual positive AFOLU emissions, which are not accounted for in this analysis.”

⁸ Für die zweite Jahrhunderthälfte werden dabei global weitere 100 GtCO₂, gemäß Fairnesskriterien für Länder des globalen Südens, verfügbar belassen.

der +1,5° C zum Ende des Jahrhunderts, mit zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur) wird oft als „deutlich unter +2°C, mit Erreichung des +1,5°C Zieles zum Ende des Jahrhunderts“ gemäß der völkerrechtlich verbindlichen Vereinbarung interpretiert. Späteren Publikationen (u.a. IPCC SR1.5 (2018) und IPCC AR6 (2022)), und ihren Aussagen, dass **die Gefahr des Überschreitens von Kipp-Punkten* kritischer und schneller voranschreitet als** noch im IPCC AR5 (2014) **erwartet**, und der restriktiveren Vereinbarung von Glasgow 2021⁹ trägt diese Interpretation nicht Rechnung. Daher ist auch der **+1,5°C Pfad ohne Überschießen als wesentlicher Pfad** dargestellt.

Tabelle 1 Globale Treibhausgas- und CO₂-Budgets

Aus der wissenschaftlichen Literatur entnommene globale kumulativ noch mögliche CO₂eq-Emissionen bzw. CO₂-Emissionen, die mit bestimmten Temperaturerhöhungen einhergehen, bei verschiedenen Wahrscheinlichkeiten (50% und 66%) für die Einhaltung des +1,5°-Zieles. Alle Werte sind gerundet.

Temperaturgrenzwert	Wahrscheinlichkeit der Einhaltung der Temperaturgrenzwerte		Quelle
	50%	66%	
THG Budget (alle THG)			
+1,5° C (OHNE zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur)	820 GtCO₂eq ab 2018	590 GtCO₂eq ab 2018	CO ₂ Werte aus IPCC SR1.5 (2018); CO ₂ zu THG Verhältnis (2,5:1) laut Emissions Gap Report Executive summary (UNEP, 2020)
+1,5° C (MIT zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur von bis zu ~+1,65° C)	1.000 GtCO₂eq, ab 2017 ⁺	720 GtCO₂eq ab 2017 ⁺	Kirchengast et al., 2019, auf Basis IPCC (2018), Rogelj et al., (2019), seither bestätigt durch Warszawski (2021); CO ₂ zu THG Verhältnis (2,5:1) laut Emissions Gap Report Executive summary (UNEP, 2020)
Kohlenstoffbudget (nur CO₂)			
+1,5° C (OHNE zwischenzeitlich höhere Temperatur bis Ende des Jahrhunderts)	580 GtCO₂ ab 2018	420 GtCO₂ ab 2018	IPCC SR1.5 (2018)
+1,5° C (MIT zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur von bis zu ~+1,65° C)	700 GtCO₂ ab 2017 ⁺	510 GtCO₂ ab 2017 ⁺	Kirchengast et al., 2019, auf Basis IPCC (2018), Rogelj et al., (2019), seither bestätigt durch Warszawski (2021); Werte sind konsistent mit IPCC AR6 WGI (SPM, Table SPM.2, p. 38)

⁺ In diesen Quellen wurde das Budget für den Zeitraum 2017-2050 ausgewiesen aufgrund zusätzlicher verfügbarer 100 GtCO₂ für Länder des globalen Südens, gemäß Fairnesskriterien. Für die Erreichung der Temperaturziele ist es jedoch unerheblich, in welchem Zeitraum das Budget ausgeschöpft wird. Ausschlaggebend ist, dass das Budget nicht überschritten wird. Dabei wird für letztere (CO₂) implizit eine zeitgleiche Reduktion der Nicht-CO₂-Treibhausgasemissionen angenommen

⁹ siehe Glasgow Climate Pact: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_10_add1_adv.pdf

4. Kohlenstoffsinken und negative Emissionen

Von den globalen THG-Emissionen, die in die Atmosphäre gelangen, wurden im Mittel 2010-2019 etwa 23% vom Ozean und 33% von der Vegetation und den Böden aufgenommen (Friedlingstein et al., 2020). Dies ist bei der Berechnung des globalen THG-Budgets berücksichtigt. Steigerungen der Kohlenstoffsinken können das CO₂-Budget erhöhen. Diese können auf natürliche Weise erfolgen, z. B. indem mehr Waldfläche angelegt sowie wiederhergestellt wird oder indem durch veränderte Waldnutzung und landwirtschaftliche Praktiken mehr Kohlenstoff aus der Atmosphäre im Boden als Humus gespeichert wird (IPCC, 2018).

Es gibt aber auch Ansätze, die natürlichen Senken durch technologische Senken zu ergänzen. Dies könnte durch chemische Extraktion des CO₂ aus Abgasen oder aus der Luft und anschließender Verbringung in ausgeförderte Kohle-, Öl- oder Erdgaslagerstätten erfolgen, oder durch Verpressung in Bodenschichten, die z. B. durch Aquifere (wasserführende Schichten) gegen die Oberfläche abgeschirmt sind. Es gibt auch Überlegungen, das CO₂ in tiefe Ozeanschichten zu befördern. Diese Technologien werden als Carbon Capture and Storage¹⁰ (CCS) bezeichnet. Entsteht das emittierte CO₂ aus nachwachsender Biomasse (Bioenergie), könnten derartige Methoden den Abbau von CO₂ aus der Atmosphäre beschleunigen (Bioenergy with carbon capture and storage, BECCS). Sie gehen dann als negative Emissionen in die Bilanzen ein. CCS wird in der Fachliteratur kontrovers diskutiert. Unter anderem aufgrund des unsicheren Potentials, dem damit verbundenen Energieaufwand und den Kosten sowie möglichen (unerwünschten) Nebeneffekten (IPCC 2005, Ashworth et al., 2015; Dowell et al., 2017). Andere Ansätze gehen davon aus, dass das abgeschiedene CO₂ oder der Kohlenstoff in andere Produktionsprozesse einfließt, z. B. als CO₂ in Algenproduktion für Kosmetika oder Nahrungsmittel oder als Kohlenstoff in die Kunststoffindustrie – Carbon Capture and Utilisation (CCU). Bisher sind allerdings nur sehr wenige CCU Prozesse tatsächlich kommerziell verfügbar. Die Nutzung als Brückentechnologie kann sich mittelfristig als wirkungsvoll erweisen, die langfristige Perspektive ist derzeit allerdings noch offen (CCCA, 2021a).

Aufgrund der Unsicherheiten in Chancen und Risiken sowie in der zeitgerechten Umsetzung dieser Technologien beziehen die hier herangezogenen Szenarien der Senken, ausschließlich die natürlichen Senken (Aufforstung, Humusaufbau) mit ein.

Für die THG-Budgetüberlegungen sind diese weiteren Technologien jedoch insofern von Bedeutung, als in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zudem angenommene negative Emissionen ein höheres THG-Budget für die Phase davor (erste Jahrhunderthälfte) zulassen würden als in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt. Dass diese Methoden von verschiedenen Autor_innen als notwendig angenommen werden, ist darauf zurückzuführen, dass die meisten Modelle in den internationalen Studien (insbesondere IPCC) energieproduktionsgetrieben angesetzt sind und ein Einhalten der Temperaturziele nur durch technologische Senken zu bewerkstelligen ist. Die wenigen Modelle die Veränderungen auf der Verbraucher_innenseite berücksichtigen zeigen jedoch, dass die vorhandenen Einsparmöglichkeiten an Emissionen auch ohne Verlust an Lebensqualität ein Überschießen der Emissionen und damit der Temperaturen nicht zwingend erforderlich machen (Grubler et al., 2018).

In den vorliegenden Ausführungen werden jedenfalls nur vertretbare Senken (“reasonable” in der Begrifflichkeit von (Warszawski et al., 2021, Figure 1, Panel d)), nicht jedoch herausfordernde oder

¹⁰ auch Carbon Capture and Sequestration genannt

spekulative negative Emissionen berücksichtigt. Zudem wird, wie zuvor erwähnt, für die globalen und nationalen THG-Budgets unterstellt, dass die derzeit bestehenden Senken (der Sektor Land Use and Land Use Change and Forestry, LULUCF) auf unverändertem Niveau (global und national) wirksam bleiben. Um die Senken hierzulande zu erhalten müssten u.a. Österreichs Moore bewahrt werden (Essl et al., 2012) sowie eine weitere Bodenversiegelung verhindert werden.

5. Skalieren auf die nationale Ebene

Um von diesen auf globaler Ebene berechneten Zahlen auf eine nationale Ebene zu kommen, gibt es verschiedene Ansätze. Einer der häufigsten ist der sogenannte „*equal per capita*“ - zu Deutsch: „Pro-Kopf“ - Ansatz (aufbauend auf WBGU, 2009), bei dem das Budget ab Inkrafttreten des Pariser Abkommens mit Ende 2016 nach Bevölkerungszahlen auf die Staaten aufgeteilt wird. Dieser Ansatz geht davon aus, dass jedem Menschen das gleiche THG-Budget zusteht, egal wo auf der Welt dieser Mensch lebt, von welchem derzeitigen Emissionsniveau er_sie startet und wie hoch die historischen THG-Emissionen des jeweiligen Heimatlandes ausfielen. Die seit 2016 bereits national emittierten Mengen sind von diesem zugeteilten Budget abzuziehen.

Eine zweite, häufig bedachte Herangehensweise zur Berechnung nationaler THG-Budgets beruht auf dem auch in WBGU (2009) diskutierten Ansatz der „Verringerung und Konvergenz“ („*contraction and convergence*“). Bei diesem Ansatz wird die Länderzuteilung aus dem globalen Budget so festgelegt, dass die THG-Emissionen eines Landes, meist von seinem heutigen Emissionsniveau ausgehend, auf ein global einheitliches Emissionsniveau pro Kopf zu einem zukünftigen Zeitpunkt (z. B. dem Jahr 2050) geführt werden. Für Länder, deren Emissionsmenge derzeit noch darunter liegt, erlaubt dieser Ansatz noch einen gewissen Anstieg. Industriestaaten wie Österreich müssten die Emissionen zwar reduzieren, aber den global einheitlichen pro-Kopf Emissions-Wert erst in der Zukunft erreichen, wodurch ihnen ein insgesamt größeres THG-Budget als unter dem zuvor genannten Pro-Kopf-Ansatz (der das verbleibende globale Budget sofort global einheitlich pro Kopf aufteilt) zur Verfügung stünde (Meyer & Steininger, 2017; Köppl et al., 2020).

Beide Ansätze weisen aktuell hoch emittierenden Industrieländern vergleichsweise größere Budgets zu, als dies aus verschiedenen Fairnessüberlegungen gerechtfertigt werden kann. Beispielsweise können hohe historische Emissionen berücksichtigt werden (Industriestaaten haben ihr THG-Budget dann schon bereits wesentlich stärker, allenfalls auch vollständig, aufgebraucht), oder kann der in Hinkunft global abnehmende Bevölkerungsanteil der Industriestaaten berücksichtigt werden (Meyer & Steininger, 2017; Köppl et al., 2020). Weiters können Kapazitätsüberlegungen ins Treffen geführt werden (reiche Länder haben mehr Ressourcen um einen Übergang zur Klimaneutralität durchzuführen), wie auch Bedürfnis-Überlegungen (in Ländern des globalen Südens sind vielfach Grundbedürfnisse noch nicht allgemein erfüllt, diese Länder haben daher noch einen größeren Anspruch). Williges et al. (2022) wägen diese Argumente ab und quantifizieren deren individuelle Beachtung für alle Länder der Erde und schlussfolgern, dass (1) es sehr starke Argumente für einen Pro-Kopf-Ansatz gibt, der durch weitere Qualifikationen (Bedürfnisse, Kapazität, historische Emissionen) zu modifizieren ist, (2) ein „grandfathering“ wie es durch den contraction and convergence Ansatz zum Ausdruck kommt hingegen – zumindest in dieser Form – schwerlich nach allgemeinen moralischen Grundsätzen argumentierbar ist. In weiterer Folge werden in diesem Paper die Budgets nach dem Pro-Kopf-Ansatz berechnet. Da die Budgets bei der Verwendung von anderen Ansätzen

weiter schrumpfen würde, sind die hier **genannten Budgets jedenfalls als Maximalbudgets** zu verstehen.

Eine Adaption des aufgrund von Fairnessüberlegungen erweiterten Pro-Kopf-Budgetansatzes wäre durch den Handel von Budgetanteilen zwischen einzelnen Ländern möglich. Dies ermöglicht den Industrienationen, ihren Anteil zu erhöhen, indem sie Länder des globalen Südens darin unterstützen, ihr eigenes Budget nicht auszuschöpfen (von Weizäcker & Wijkman, 2018). Das ist insofern attraktiv, als es den Industrienationen sehr schwerfällt, mit ihrem Budget auszukommen, während Länder des globalen Südens, wenn sie den Umweg über fossile Energie nicht gehen, sondern z. B. ihr Stromnetz gleich mit Erneuerbaren ausbauen, ihr Budget nicht ausschöpfen müssen. Dieses als *leap-frogging* bezeichnete Überspringen veralteter Technologien erfordert finanzielle Mittel, die von den Industrienationen im Gegenzug zur Überlassung von Budgetteilen bereitgestellt bzw. durch den Green Climate Fund finanziert werden. Damit das nicht zu einem reinen Freikaufen der Industrienationen entartet, dürften die Emissionsrechte nur gegen die nachvollziehbare Umsetzung von entsprechenden Maßnahmen eingetauscht werden¹¹.

6. Ein EU-Spezifikum: ETS und non-ETS Sektoren

In den Mitgliedsstaaten der EU wird unterschieden zwischen jenen THG-Emissionen, die von Großemittenten stammen und die über das Europäische Emissionshandelssystem (ETS) auf europäischer Ebene geregelt werden, und anderen (non-ETS) Emissionen, für deren Reduktion die einzelnen Staaten durch auf ihrer Ebene zu setzende Maßnahmen verantwortlich sind. Diese nationalen Ziele sind durch die "Effort Sharing"-Richtlinie der EU¹² verbindlich geregelt. Das Pariser Klimaabkommen bezieht sich naturgemäß auf alle THG-Emissionen, aber manche nationalen Regierungen von EU Mitgliedstaaten fühlen sich nur für den non-ETS-Bereich zuständig und wollen daher ihr "Netto-Null" Ziel auch nur für diesen Sektor verstanden wissen. Werden nur die Emissionen aus dem non-ETS Bereich betrachtet, so ist das für diesen Bereich verfügbare THG- oder CO₂-Budget entsprechend zu reduzieren, wobei das Ausmaß der Reduktion sich an dem Anteil der aktuellen ETS-Emissionen orientiert, aber möglicherweise im Laufe der Zeit dynamisch angepasst werden muss. In Österreich betrug der Anteil der nationalen THG-Emissionen im ETS-Bereich im Jahr 2019 37% (Umweltbundesamt, 2021b).

7. Produktions- oder konsumbasierte Emissionen: Wie wird das Budget verbraucht?

Wurde nun ein THG- oder CO₂-Budget für ein Land (oder weiter heruntergebrochen auf subnationale Akteur_innen in diesem Land, wie etwa Regionalregierungen, Unternehmen, Privathaushalte) ermittelt, das angibt wieviel Emissionsausstoß durch diese Länder oder Akteur_innen noch zulässig ist um die Ziele des Pariser Abkommens einzuhalten, so ist zunächst zu klären, welche Emissionsaktivitäten zu einem Verbrauch dieses Budgets führen. In einer Weltwirtschaft mit globalisierten Wertschöpfungsketten können öffentliche und private Akteur_innen einerseits auf die gewählten Produktionsverfahren Einfluss nehmen (und damit die sogenannten produktionsbasierten

¹¹ festgelegt in der EU-Richtlinie zum Emissionshandel 2003/87/E: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02003L0087-20210101#M4-18>

¹² siehe https://climate.ec.europa.eu/eu-action/effort-sharing-member-states-emission-targets_de

THG-Emissionen¹³ beeinflussen) und andererseits auch mit der Auswahl der von ihnen gekauften Konsumgüter oder Produktionsmittel auf die durch diese Güter in deren gesamter internationaler Wertschöpfungskette verursachten Emissionen (konsumbasierte THG-Emissionen).

Die internationale THG-Emissionsmetrik gemäß UN Reporting (UNFCCC*) verwendet den produktionsbasierten Ansatz und rechnet somit Emissionen jeweils jenem Staat zu, in dem diese anfallen, bzw. in dem die fossilen Brennstoffe verkauft werden. So werden Österreich alle Emissionen angerechnet, die aus fossilem Energieeinsatz im Inland entstehen, aber auch jene die aus Treibstoffkäufen in Österreich resultieren (selbst wenn dieser Treibstoff dann in anderen Ländern verfahren wird), während umgekehrt die Emissionen, die z. B. in der Mobiltelefon-Produktion in China anfallen unter diesem Ansatz auch dann der Volksrepublik China angerechnet werden, wenn diese Mobiltelefon-Produkte nach Österreich exportiert werden.

Beim "konsumbasierten" Ansatz werden die THG-Emissionen hingegen jenem Staat zugerechnet, der das Produkt konsumiert, d.h. aus dem die Endnachfrage kommt (wo das Produkt als Konsum- oder Investitionsgut nachgefragt wird). Das heißt, dass alle Emissionen, die in der gesamten Vorproduktkette entstehen, der Endnachfrage zugerechnet werden. Beispielsweise werden die Emissionen, die in der Stahlproduktion entstehen, unabhängig davon wo auf unserem Planeten, dem Gebäudeneubau in Österreich zugerechnet, in dem dieser Stahl eingesetzt wird. Für Österreich ergaben Berechnungen für die konsumbasierten Emissionen einen Aufschlag von 40% - 60% auf die produktionsbasierten Emissionen. Dieser Ansatz wird zwar häufig als "gerechter" empfunden, ist allerdings in der Erhebung mit größeren Unsicherheiten behaftet, weil die Emissionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette dem Endprodukt zugerechnet werden müssen. Zudem berücksichtigt der konsumbasierte Ansatz nicht die exportierten Emissionen. Wenn umfassend bewertet werden soll, ob sich eine nationale Ökonomie bzw. Gesellschaft in Richtung Dekarbonisierung entwickelt, müssen sowohl die im Land verursachten Emissionen (produktionsbasiert) sowie die Außenhandelsbeziehungen (konsumbasiert) miteinbezogen und entsprechend abgebildet werden (Munoz & Steininger, 2010; Windsperger et al., 2017; Steininger et al., 2018; Eisenmenger et al., 2020; Nabernegg, 2021).

8. Das österreichische Treibhausgasbudget berechnet mit dem Pro-Kopf-Ansatz

Österreich hat mit zirka 8,7 Millionen Einwohner_innen (Statistik Austria, 2022, Stichtag 1.1.2016) etwa ein Tausendstel (0,12%) der 7,5 Milliarden Menschen umfassenden Weltbevölkerung (Statista, 2022, Stichtag 1.1.2016). Das bedeutet für das Einhalten des +1,5°C Zieles zum Ende des Jahrhunderts im Median (50% Wahrscheinlichkeit) und mit geringfügigem zwischenzeitlichem Überschreiten ein THG-Budget für 2017-2050 in Höhe von 1.000 MtCO₂eq. Ohne Überschreiten und mit Zwei-Drittel Wahrscheinlichkeit der Temperaturziel-Einhaltung ein THG-Budget ab 2018 in Höhe von 590 MtCO₂eq (vgl. Tabelle 1).

¹³ Der Begriff "produktionsbasiert" ist unscharf, weil es eher "territorial physische" Emissionen innerhalb der Landesgrenzen sind; einzige Ausnahme ist die Bilanzierung der Emissionen, die aus Treibstoffverbrauch entstehen, und die dem Ort der Betankung zugerechnet werden, somit auch allenfalls im Ausland verfahrenen Treibstoff umfassen.

Von 2017 bis 2021 hat Österreich etwas über 389 MtCO₂eq emittiert (Sommer et al., 2021; Umweltbundesamt, 2022), die von den oben angeführten THG-Budgets abzuziehen sind, wenn das Budget ermittelt wird, das ab 2022 noch verfügbar ist. **Innerhalb von fünf Jahren wurde daher schon rund ein Drittel bis 40% des verfügbaren Budgets verbraucht.**

Das Treibhausgasbudget ab Anfang 2022 für Österreich liegt daher bei Einhaltung seines Anteils zur Erreichung des +1,5 Grad Zieles **zwischen 280 MtCO₂eq** (bei 66% Wahrscheinlichkeit, ohne zwischenzeitlich höherer Temperatur) **und 610 MtCO₂eq** (50% Wahrscheinlichkeit, mit geringfügig zwischenzeitlich höherer Temperatur)(siehe Tabelle 2).^{14,15}

Falls es gelingt, im Zeitraum 2022-2050 mehr Kohlenstoff pro Jahr in Österreichs Senken zu speichern, als das aktuell der Fall ist, so erhöhen sich auch die zulässigen Emissionen im Zeitraum um den gleichen Betrag. Dies könnte z. B. durch die Optimierung von land- und forstwirtschaftlichen Praktiken, einer niedrigeren Nutzungsintensität oder dem Erhöhen von Wald- und Dauerwiesenanteil erreicht werden. Szenarien im Ref-NEKP (*Referenzplan als Grundlage für einen wissenschaftlich fundierten und mit den Pariser Klimazielen in Einklang stehenden Nationalen Energie- und Klimaplan für Österreich*) (Kirchengast et al., 2019) gehen von einer zusätzlich möglichen Speicherung in Österreichs Wäldern, Wiesen und Ackerböden in Höhe von 80 MtCO₂ bis 2050 aus. Das Netto-THG-Budget selbst (d.h. unter Gegenrechnung der erweiterten Senken) verändert sich dadurch freilich nicht. Das hier spezifizierte THG-Budget informiert über die noch zulässigen Emissionen aus fossilen und industriellen Prozess-Emissionen. Es unterstellt, dass die Netto-Senken aus der Landnutzung und Forstwirtschaft (Bilanzierungsbereich LULUCF) unverändert auf aktuellem Niveau (2018-2019) erhalten bleiben. Es zeichnet sich jedoch ab, dass selbst der Erhalt dieser Funktion auf aktuellem Niveau einer signifikanten zusätzlichen Anstrengung in Österreich bedarf angesichts der derzeitigen Bodenversiegelungsraten, landwirtschaftlichen Praktiken, Vernichtung von Wäldern durch Schädlinge (z. B. Borkenkäfer) und Extremereignisse (z. B. Waldbrände). Letzteres kann außerdem dazu führen, dass Wälder Kohlenstoff freisetzen anstatt ihn zu speichern, wie es im Amazonasgebiet bereits teilweise der Fall ist (Rebane et al., 2019; Gatti et al., 2021). Sie werden damit von CO₂-Senken zu CO₂-Quellen.

¹⁴ Zahlen sind gerundet

¹⁵ Basierend auf den neuesten globalen Budgetschätzungen (Lamboll et al., 2022 – derzeit im Reviewprozess) verkleinert sich das österreichische Budget noch weiter und beträgt zwischen 133 MtCO₂eq und 336 MtCO₂eq.

Tabelle 2 Treibhausgas- und CO₂-Budgets für Österreich ab 2022

Für Österreich aus globalen THG-Budgets (siehe Tabelle 1) THG- und CO₂-Budgets ab 2022 auf Basis global gleicher pro-Kopf Zurechnung ab 2016 für unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten (50% und 66%) für die Einhaltung des +1,5°-Zieles. Alle Werte sind gerundet.

Temperaturgrenzwert	Wahrscheinlichkeit der Einhaltung der Temperaturgrenzwerte	
	50%	66%
THG-Budget (alle Treibhausgase)		
+1,5 °C (OHNE zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur)	510 MtCO ₂ eq	280 MtCO ₂ eq
+1,5 °C (MIT zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur von bis zu ~1,65°C)	610 MtCO ₂ eq	340 MtCO ₂ eq
Kohlenstoffbudget (nur CO₂)		
+1,5 °C (OHNE zwischenzeitlich höhere Temperatur bis Ende des Jahrhunderts)	430 MtCO ₂	240 MtCO ₂
+1,5 °C (MIT zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur von bis zu ~1,65°C)	520 MtCO ₂	280 MtCO ₂

Anmerkung: Das Herunterbrechen der globalen Werte (aus Tabelle 1) basiert auf dem Bevölkerungsanteil Österreichs von rund 0,1% an der globalen Bevölkerung, reduziert um die österreichischen Emissionen 2017-2021. Der CO₂-Anteil wird entsprechend den aktuellen Zahlen laut Austria's National Inventory Report 2021 des Umweltbundesamtes mit 85% (Umweltbundesamt, 2021a) angesetzt. Die THG-Emissionen stammen bis einschließlich 2020 aus dem National Inventory Report (Umweltbundesamt, 2021a) und für das Jahr 2021 aus Berechnungen des Wegener Centers (Schleicher & Kirchengast, 2022). Für CO₂-Budgets wird dabei implizit eine zeitgleiche Reduktion der Nicht-CO₂-Treibhausgasemissionen angenommen.

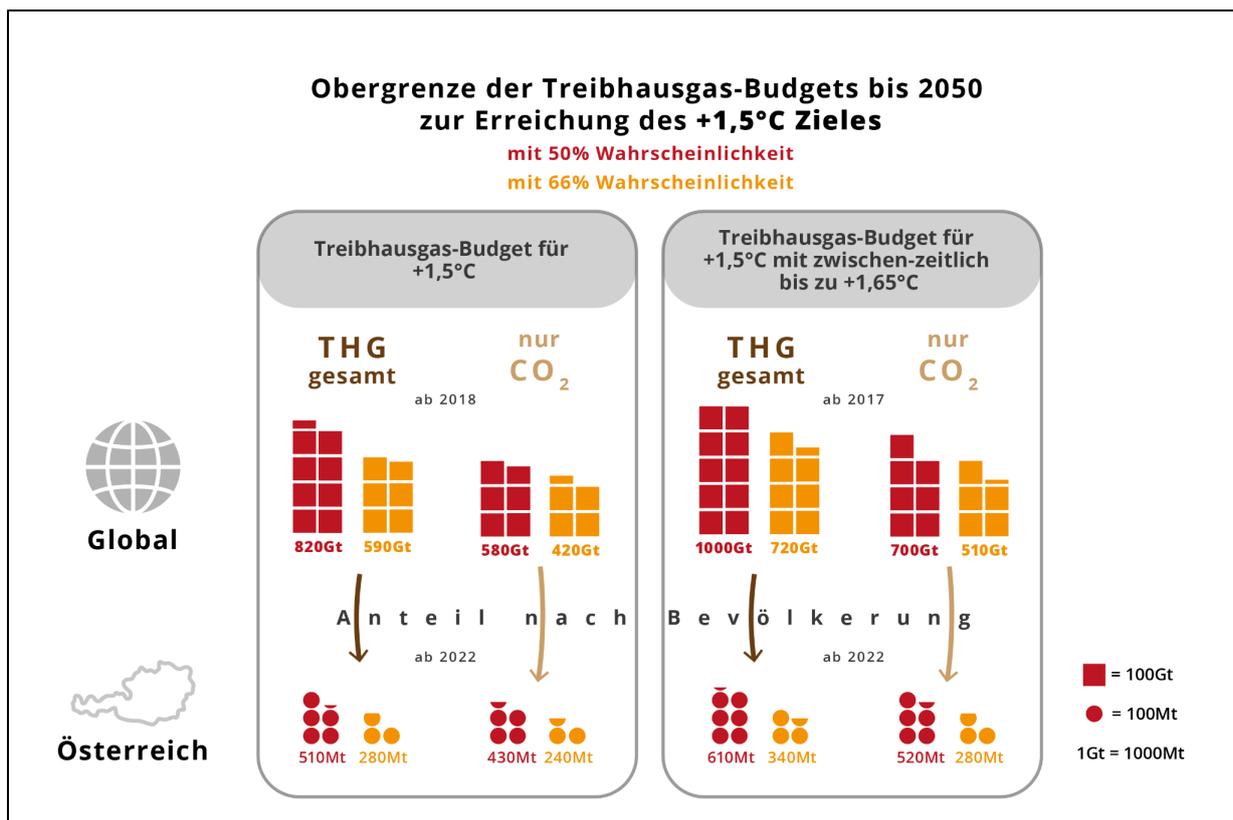


Abbildung 2 Veranschaulichung des Treibhausgasbudgets bis 2050 unter Einhaltung des +1,5°C-Zieles

Die Grafik veranschaulicht die im Text erklärten und in den Tabelle 1 und 2 genannten THG-Budget-Zahlen nach einem produktionsbasierten pro-Kopf Ansatz. Dargestellt sind das gesamte THG-Budget und das separate CO₂-Budget sowohl auf globaler Ebene als auch für Österreich mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten (50% (rote Symbole) und 66% (gelbe Symbole)). Dabei wird unterschieden zwischen den Budgets, die für das direkte Einhalten des +1,5°C Zieles und Budget für das +1,5°C Ziel mit zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur von bis zu ~+1,65°C. Der +1,5°C-Pfad ohne zwischenzeitliches Überschießen auf +1,65°C wird als der wesentliche Pfad herangezogen, da laut aktuellen Publikationen die Gefahr des Überschreitens von Kipp-Punkten kritischer und schneller voranschreitet als bisher angenommen. Die Werte für Österreich sind aufgrund des relativen globalen Bevölkerungsanteils von rund 1/1.000 berechnet.

9. Skalieren auf die subnationale Ebene

Mit denselben Skalierungsüberlegungen und Aufteilungsgrundsätzen wie für nationale Budgets lassen sich THG-Budgets und Kohlenstoffbudgets für Regionen und Städte ableiten, etwa mit der „pro-Kopf“-Methode über die Einwohner_innenzahl (Köppl et al., 2020; Steininger et al., 2020a; Steininger et al., 2022). Je nach den politischen Zielen, z. B. CO₂-Neutralität* bzw. Klimaneutralität bis 2040 in Wien bzw. bis 2050 in Salzburg, muss das Budget für einen längeren oder kürzeren Zeitraum ausreichen. Da das THG-Budget in der Regel die limitierende Bestimmung ist, scheint die politische Zielerreichungsvorgabe des Zeitpunkts möglicherweise praktisch keinen großen Unterschied zu machen. **Für einen frühen Zeitpunkt für Klimaneutralitätsziele unter Einhaltung des THG-Budgets spricht jedoch, dass dadurch institutionelle, technologische und ökonomische Lock-in-Effekte verringert oder sogar vermieden werden könnten, wenn frühzeitig passende gesetzliche Rahmenbedingungen geschaffen werden.** Auch in diesem Sinne wäre die Anpassung der Bestimmungen der Länder an die Vorgabe des Bundes klärend.

Bei der Skalierung auf die subnationale Ebene der einzelnen Bundesländer Österreichs kommt der Unterscheidung zwischen produktions- und konsumbasierten Emissionen (ebenso wie in Kapitel 7 beschrieben) große Bedeutung zu, da z. B. im Bundesland Wien ein Großteil der Bevölkerung Österreichs lebt, der Anteil am nationalen THG-Budget daher allein auf Basis eines pro-Kopf-Schlüssels hoch ausfällt, die Produktionsstätten aber größtenteils in anderen, bevölkerungsärmeren Bundesländern (insbesondere Oberösterreich und Steiermark) liegen. Diese würden daher bei reiner pro-Kopf-Zuteilung ein kleines THG-Budget, aber überproportionale produktionsbasierte Emissionen aufweisen. Die Aufteilung des THG-Budgets Österreichs auf die Bundesländer ist daher - je nachdem ob es für die konsumbasierte Verbrauchsbeurteilung oder die produktionsbasierte bestimmt ist - anders vorzunehmen und eine komplexe Aufgabe. Verschiedene Methoden für eine Zuteilung auf Bundesländer oder Wirtschaftssektoren beschreiben Steininger et al. (2020a) und sind Gegenstand weiterer Forschungsvorhaben. Sie gehen jeweils von möglichen Pfaden zur Erreichung von Netto-Null-Emissionen aus, mit dem Startpunkt bei derzeitigen Emissionsniveaus.

10. Reduktionspfade für Österreich

Konkrete Reduktionspfade, welche die jeweiligen nationalen und regionalen Budgets nicht überschreiten, ergeben sich nicht aus rein wissenschaftlichen Überlegungen, sondern sind politische Entscheidungen. Man kann das *low hanging fruits*-Prinzip nutzen und am Anfang stärker reduzieren und so mehr Zeit für die schwierigeren Aufgaben gewinnen. Läuft das Reduktionsprogramm hingegen langsam an, dann muss es später beschleunigt ablaufen. Wesentlich ist, dass das Budget dabei nicht überschritten wird.

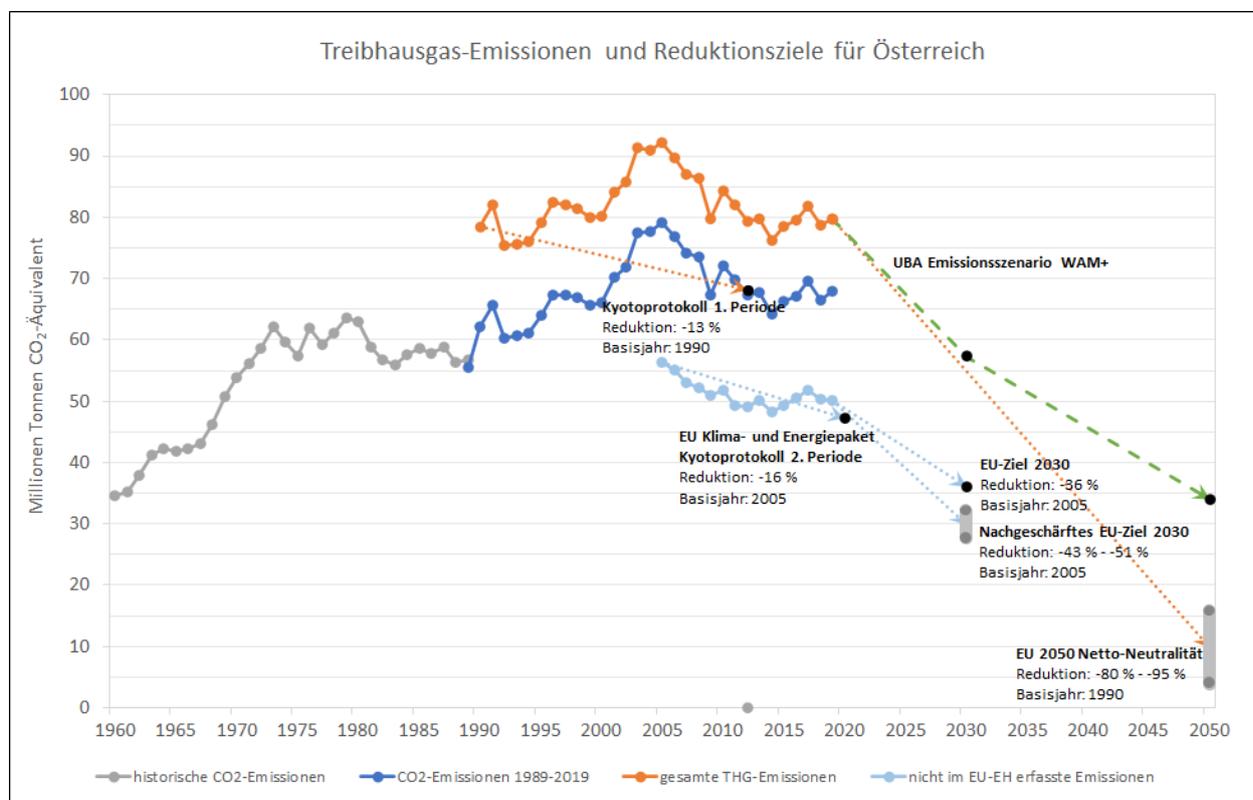


Abbildung 3 Treibhausgasemissionen und Reduktionsziele für Österreich (Quelle: Schwarzl et al., 2021)

Abbildung 3 zeigt den Verlauf verschiedener Emissions-Kategorien von 1960 bis 2019 (gepunktete Linien), und vergleicht diese mit vergangenen und aktuellen klimapolitischen Zieleetzungen bis 2050

(gestrichelte Pfeile) für Österreich. Die graue Linie zeigt historische CO₂-Emissionen von 1960 bis 1989 (Schleicher & Radunsky, 1997), die blaue Linie die CO₂-Emissionen von 1989 bis 2019. Die orangefarbene Linie beschreibt die gesamten THG-Emissionen Österreichs in CO₂-Äquivalenten, ohne Landnutzungs(änderung) und Bewaldung (LULUCF) (Umweltbundesamt, 2021a). Die hellblaue Linie (2005-2019) zeigt sämtliche inländische THG-Emissionen in CO₂-Äquivalenten, die nicht im EU Emissionshandel erfasst sind und die Gegenstand der nationalen Klimaschutzgesetzgebung sind (Umweltbundesamt, 2021a). Dabei geht es um die nationale Umsetzung von EU-Verordnungen, die die Gesamtziele der EU als Vertragspartnerin im internationalen Klimaabkommen (Kyoto, Paris) auf die Mitgliedstaaten herunterbrechen.

Die Klimaziele umfassen die beiden Perioden des Kyoto-Protokolls und das aktuell im nationalen Klimaschutzgesetz verankerte Klimaziel der EU für 2030. Für Österreich bedeutet das eine Reduktion der THG-Emissionen um 36% gegenüber dem Niveau von 2005 (NEKP, 2019). Inzwischen wurde dieses EU-Ziel nachgeschärft, für Österreich sieht der Vorschlag der EU-Kommission, auf den sich auch die EU Umweltminister_innen bereits verständigt haben, für den Non-ETS Bereich -48% bis 2030¹⁶ vor. Weiters sind in der Grafik das stärkste Reduktionsszenario des Umweltbundesamtes (WAM+), bezogen auf die Gesamtemissionen Österreichs, mit den Zwischenschritten 2030 und 2050 als grün gestrichelter Pfeil eingezeichnet (Umweltbundesamt, 2015). Die EU verpflichtet sich über das Pariser Klimaabkommen hinaus bis 2050 zur Netto-Klimaneutralität, was eine Reduktion der Gesamtemissionen um 80 – 95 % bedeutet. Dieses Ziel wurde als Orientierungsrahmen bezogen auf die österreichischen Gesamtemissionen eingezeichnet; es zeigt, dass das WAM+Szenario des Umweltbundesamtes zu kurz greift.

Das maximal für Österreich verfügbare Budget von 610 MtCO₂eq (siehe Tabelle 2) kann ausgehend von einer Netto Emissionsmenge im Jahr 2021 in Höhe von 73,9 MtCO₂eq mit einem bilinearen Pfad mit einem Abbau von 4,5 MtCO₂eq pro Jahr bis 2030 und danach von 3,4 MtCO₂eq pro Jahr bis 2040 gerade grenzwertig eingehalten werden (Kirchengast & Steininger, 2022). Geht man weiter davon aus, dass kein zwischenzeitliches Überschreiten der +1,5°C Marke erwünscht ist, oder das Ziel mit einer höheren Wahrscheinlichkeit erreicht werden soll, verringert sich das Budget dementsprechend und kann mit dem genannten Reduktionspfad nicht mehr eingehalten werden. Es ist zu beachten, dass dieser Pfad auf einer reinen pro-Kopf Berechnung beruht und auch keinerlei weitere Fairnessüberlegungen bzw. konsumbasierte THG-Emissionen einbezieht. Werden diese berücksichtigt, verringert sich das noch verfügbare THG-Budget weiter deutlich (durch Fairnessüberlegungen) bzw. erfolgt dessen Verbrauch schneller (durch konsumbasiert bilanzierte Emissionen).

Würde Österreich vom derzeitigen Emissionsniveau¹⁷ von rund 80 MtCO₂eq pro Jahr linear auf netto Null im Jahr 2040 reduzieren, würde dies eine Emissionsreduktion um $80 : 19 = 4,2$ MtCO₂eq pro Jahr bedeuten. Daraus ergibt sich eine Gesamtemissionsmenge von $19 \text{ Jahre} * 75,8 \text{ MtCO}_2\text{eq pro Jahr} / 2 = 720$ MtCO₂eq von 2022 bis 2040. Das übersteigt deutlich auch die großzügigst berechneten Budgets in

¹⁶ laut Verordnung (EU) 2018/842 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14.7.2021 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der THG-Emissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris

¹⁷ Die realen Emissionen im Jahr 2020 lagen bei rund 74 MtCO₂eq, doch ist dieser Wert Corona-lock-down-bedingt besonders niedrig. Die eingesparten Emissionen sind bei der Budgetberechnung für Budgets, die die Zeit vor 2021 einbeziehen, zu berücksichtigen, den niedrigen Wert als Ausgangswert für den Emissionspfad zu wählen, empfiehlt sich jedoch nicht, weil es keine strukturellen Veränderungen waren, die zu dieser Emissionsreduktion geführt haben, sondern nur ein vorübergehend abgesenktes Aktivitätsniveau.

Kapitel 8, welche zwischen 280 MtCO₂eq und 610 MtCO₂eq rangieren.¹⁸

Da in der tatsächlichen Verteilung die absolute Emissionsreduktion zunächst höher sein wird, als bei nur mehr sehr geringen Emissionen am Ende der Zielperiode, könnte in der ersten Dekade die im Schnitt erreichte absolute Emissionsreduktion höher sein als in der zweiten Dekade. Wenn bis 2030 eine Reduktion der Nettoemissionen im Schnitt um 4,8 MtCO₂eq pro Jahr unterstellt wird, und ab 2031 eine Reduktion im Schnitt um 3 MtCO₂eq pro Jahr, ergibt sich in etwa die gleiche Menge an THG-Emissionen (rund 710 MtCO₂eq). Dabei handelt es sich um jährliche Netto-Emissionen, d.h. Senken sind bereits gegengerechnet. Österreich muss daher entweder einen ambitionierteren, nichtlinearen, Reduktionspfad wählen oder über den Emissionshandel Zertifikate für den zusätzlichen Ausstoß zukaufen; Letzteres widerspräche jedoch dem Ziel der Klimaschutzumsetzung im Inland.

Halbiert man im Rahmen einer stärkeren Ambition die jeweiligen Emissionen z. B. alle 3 Jahre, ergibt sich von 2022 bis 2036 eine THG-Emissionsmenge von ca. 300 MtCO₂eq, was schon deutlich näher an den genannten Budgets liegt (vgl. Abbildung 4). Bei höherer Wahrscheinlichkeit zur Zielerreichung sind daher ambitionierte Reduktionsstufen notwendig. Dies wird in Abbildung 4, für das ab Anfang 2022 verfügbare Budget von 280 MtCO₂eq für die Erreichung des +1,5° Zieles ohne zwischenzeitliche Überschreitung mit 66% Wahrscheinlichkeit, visualisiert. Wenn die jährlichen THG-Emissionen auf dem gleichen Niveau bleiben wie bisher (orange Linie), ist dieses verfügbare Budget bereits Mitte 2025 aufgebraucht. Auch statische Reduktionspfade wie bspw. -10 MtCO₂eq pro Jahr (blaue Linie) oder prozentuale jährliche Reduktionen (gelbe Linie) sind denkbar. Nun kann argumentiert werden, dass starke Reduktionen zu Beginn schwer realisierbar seien und lieber später stärker reduziert würde. Auch solche Pfade lassen sich errechnen. Wesentlich ist, dass das verfügbare Gesamt-Budget (das entspricht der Fläche unter der Kurve) dabei nicht überschritten wird, und, dass (gemäß dem Urteil des deutschen Bundesverfassungsgerichts) Menschen in späteren Jahren nicht unverhältnismäßig freiheitsbeschränkenden Belastungen ausgesetzt sind (Bundesverfassungsgericht, 2021).

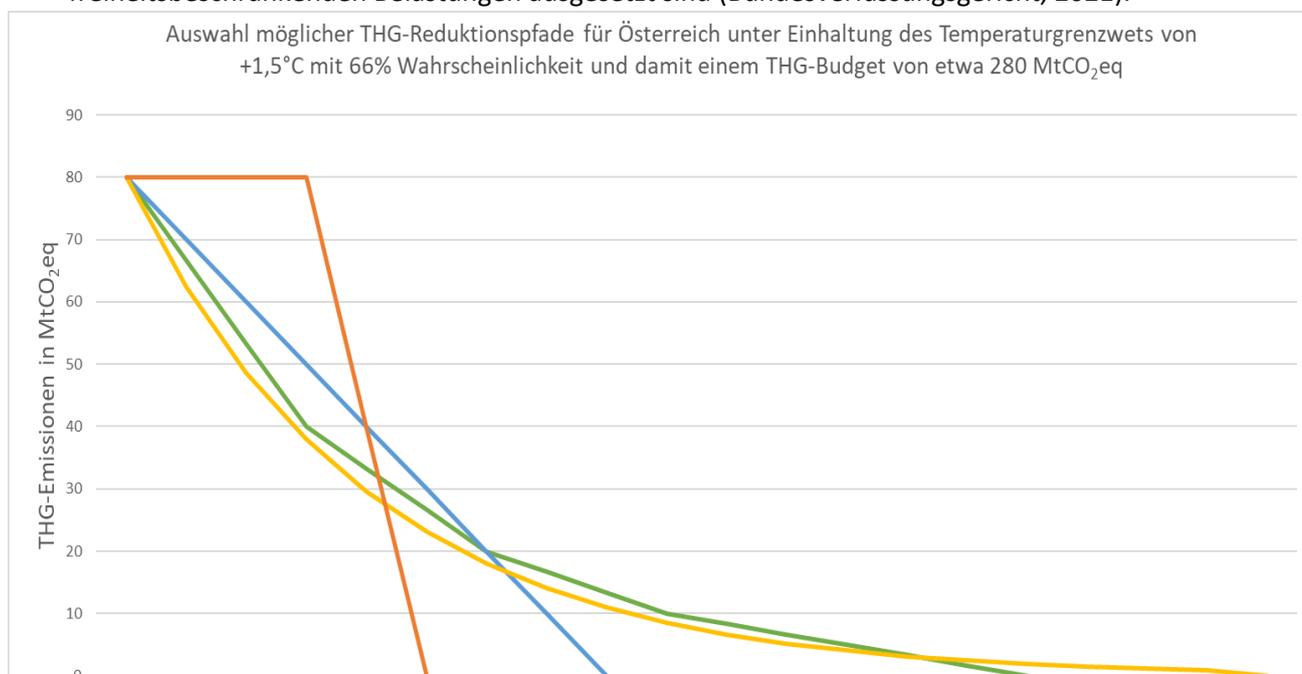


Abbildung 4 Auswahl möglicher Treibhausgas-Reduktionspfade bei Einhaltung des Temperaturgrenzwerts von +1,5°C mit 66% Wahrscheinlichkeit ohne zwischenzeitliche Überschreitung der Temperatur

¹⁸ Ein Budget von maximal 700 MtCO₂eq ab 2021 (entspricht 610 MtCO₂eq ab 2022) wurde bereits von Kirchengast und Steininger (2022) zur rechtlich verbindlichen Festlegung als maximal verbleibendes Budget für Österreich vorgeschlagen.

Um eine Überschreitung des zur Verfügung stehenden THG-Budgets zu vermeiden, ist bei jedem gewählten Reduktionspfad ein **kontinuierliches Emissionsmonitoring** erforderlich, welches nicht nur retrospektiv feststellt, ob die erforderlichen Reduktionen erfolgt sind, sondern das prospektiv die Wirksamkeit von getroffenen oder beschlossenen Maßnahmen abschätzt.

11. Erforderliche Emissionsreduktion bis 2030

Auf EU-Ebene wurde heftig diskutiert, ob die Emissionsreduktion bis 2030 (gegenüber 1990) bei -40% (bisher gültiger Wert), -55% (Vorschlag der Kommission), -60% (EU Parlamentsbeschluss) oder -80% (Forderung der Fridays For Future) liegen sollte. Europäische Kommission, Parlament und Rat hatten sich im Juni 2022 auf -55% geeinigt. Aus dem Obigen geht hervor, dass diese Zahl nur in Kombination mit einem THG- bzw. CO₂-Budget aussagekräftig ist. In Österreich würde eine Emissionsreduktion bis 2030 um 59% gegenüber 1990 bedingen, dass danach die Emissionen jährlich um etwa 3 MtCO₂eq (Netto-Emissionen) gegenüber dem Vorjahr sinken müssen, soll zumindest das maximal noch verfügbare Budget eingehalten werden.

Auf EU-Ebene sind die nun beschlossenen -55% zweifellos ambitioniert, allerdings bedeuten sie noch ambitioniertere Reduktionserfordernisse nach 2030. Das EU Budget für die Periode 2020-2050, ermittelt analog zum Budget für Österreich, liegt bei 34 GtCO₂. Bei Annahme einer durchgehend linearen Emissionsreduktion bis zur Erreichung von Netto-Null müssten die Emissionen bis 2030 um 58% reduziert werden (gegenüber 1990) (Steininger et al., 2020b). Eine bis dahin geringere Reduktion, aber auch das Verfolgen eines strikteren Zieles (z. B. Einhaltung der Temperaturgrenzen mit höherer Wahrscheinlichkeit als 50%) oder das Miteinbeziehen von konsumbasierten Emissionen implizieren danach höhere Emissionsreduktionen.

Die Extremforderung der Fridays For Future -80% bis 2030 zu erreichen ist nicht aus der Luft gegriffen. Sollen +1,5°C mit 66% Wahrscheinlichkeit eingehalten werden, dann sinkt das EU Budget auf 20 GtCO₂, und wäre bei derzeitigen Emissionen bereits vor 2027 aufgebraucht. Ein harmonischer Reduktionsverlauf erfordert -75% bis -80% bis 2030 (Steininger et al., 2020b). Dass die jungen Leute eine höhere Wahrscheinlichkeit als 50% für das Einhalten des Grenzwertes fordern, ist verständlich – würde doch niemand in ein Flugzeug einsteigen, wenn er nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% am Zielort heil ankäme. Hier geht es um die Zukunft künftiger Generationen.

12. Fazit

Am 12. Dezember 2015 wurde das Übereinkommen von Paris von den 195 Vertragsparteien der Klimarahmenkonvention der UNO verabschiedet. Zentrales Ziel ist es, katastrophale Folgen der Klimakrise durch drastische Emissionsreduktion und Anpassung abzuwenden. Damit soll der globale Temperaturanstieg in diesem Jahrhundert deutlich unter +2°C gegenüber vorindustriellem Niveau gehalten werden, mit Anstrengungen diesen auf +1,5°C zu begrenzen. Den Ländern des globalen Südens, die historisch betrachtet nur einen kleinen Anteil zur globalen Erwärmung beitragen, sagt das Übereinkommen substantielle finanzielle Hilfe in der Klimaanpassung und im Klimaschutz zu. Sieben Jahre später schreitet die globale Erwärmung mit all ihren Auswirkungen nahezu ungebremst voran. In Österreich liegt diese mit +2°C im Vergleich zur vorindustriellen Periode bereits ca. doppelt so hoch wie global (CCCA, 2021b). Aktuelle Maßnahmenpläne reichen nicht aus, um das Pariser Übereinkommen einzuhalten. Wir steuern derzeit auf eine globale Erwärmung von +2,8°C in diesem

Jahrhundert zu. Dieses Szenario hätte erhebliche negative Folgen auf unsere Lebensqualität. Wetterextreme würden weiter an Intensität gewinnen, Dürren ließen zuvor fruchtbare Gebiete austrocknen, Überschwemmungen könnten Siedlungsgebiete (auch in Europa) zerstören. All dies hätte massive Auswirkungen auf unsere Versorgungssicherheit und Gesundheit. Das Erdsystem gliche nicht mehr dem heutigen (IPCC, 2018). Auch in Österreich werden die Folgen des Klimawandels zusehends wahrnehmbar. So kam es in den vergangenen Jahren vermehrt zu Extremwetterereignissen. 2018, im bisher heißesten Jahr der österreichischen Messgeschichte, wurde mit 766 Hitzetoten im Vergleich zu 400 Verkehrstoten ein trauriger Rekord aufgestellt (Stangl et al., 2019). Die Kosten für die Klimawandelanpassung liegen in Österreich derzeit im Schnitt bei 1 Mrd. € pro Jahr, jene für Schäden bei 2 Mrd. € pro Jahr. Diese Anpassungskosten werden sich bis Mitte des Jahrhunderts voraussichtlich mehr als verdoppeln, Schadenskosten zumindest verdrei- bis versechsfachen (Steinger et al., 2020c). Um diesen möglichen Entwicklungen entgegenzusteuern, müssen die anthropogenen THG-Emissionen umgehend reduziert werden. Österreich hat sich als anerkanntes Mitglied der EU ambitionierte Ziele gesetzt und könnte durch einen ehrgeizigen Klimaschutzweg auch eine internationale Vorbildfunktion einnehmen. Als eines der Länder, das im internationalen Vergleich überdurchschnittlich viele THG-Emissionen pro Kopf ausstößt, liegt es jetzt an Österreich diesen Verpflichtungen nachzukommen. Ein Blick auf das verbleibende nationale THG-Budget untermauert die Dringlichkeit zur raschen systematischen Umsetzung wirkungsvoller Maßnahmen.

Die möglichen Maßnahmen zur Reduktion der THG sind vielfältig. Es gilt dabei beispielsweise auf technologische Innovation, soziale Gerechtigkeit, ordnungspolitische Maßnahmen, Anreize und ggf. Strafen, bundeseinheitliche Vorgaben und auf bottom-up Initiativen zu setzen. Die kürzlich in Österreich eingeführte Bepreisung von CO₂ ist beispielsweise ein effizientes Instrument in der Dekarbonisierung. Die Wissenschaft kann die Entwicklung von Optionen unterstützen und hinsichtlich verschiedener Aspekte wie finanziellem Aufwand, Wirksamkeit, zeitlicher Entwicklung, Akzeptanz, Verteilungseffekte oder Betroffenheit verschiedener gesellschaftlicher Gruppen mit Modellberechnungen oder aufgrund von Expert_innenurteilen vergleichen. Viele mögliche Maßnahmen sind bereits wissenschaftlich ausgearbeitet.¹⁹ Die Entscheidung, welcher Pfad mit welchen Maßnahmen beschritten werden soll und wird, ist jedoch eine politische, die unter möglichst weitreichender Einbeziehung der Gesellschaft gefällt werden sollte.

Bürger_innenräte, wie sie in einigen Ländern (auch in Österreich²⁰) bereits eingerichtet wurden, sind eine Möglichkeit der Einbindung der Öffentlichkeit. Volksabstimmungen, wie sie in der Schweiz üblich sind, wären eine andere. Für unterschiedliche Fragestellungen und verschiedene Ebenen (Bundes-, Landes-, Gemeindeebene) eignen sich jeweils andere Instrumente. Auch umfangreiche Maßnahmenpakete können bei der Bevölkerung auf Akzeptanz stoßen, wenn sie eindeutig kommuniziert und verstanden werden, wie beispielsweise ebendiese Bürger_innenräte eindrucksvoll gezeigt haben.

Da die Emissionsreduktionspfade jedenfalls mehrere Legislaturperioden über verfolgt werden müssen, ist es naheliegend und sinnvoll, die grundlegenden Festlegungen und finanziellen Rahmenbedingungen alsbald parteiübergreifend zu treffen und gesetzlich (z. B.: im Rahmen eines Klimaschutzgesetzes) zu verankern.

¹⁹ siehe bspw. Ref-NEKP <https://ccca.ac.at/refnekp> oder UniNEtZ Optionenbericht <https://www.uninetz.at/optionsbericht>

²⁰ Der Klimarat der Bürgerinnen und Bürger war von Jänner bis Juni 2022 tätig. Im Endbericht des Klimarats wurden zahlreiche Handlungsempfehlungen an die Politik formuliert, siehe <https://klimarat.org/>

Literatur

- Ashworth, P., Wade, S., Reiner, D., Liang X. (2015). Developments in public communications on CCS. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. Volume 40. Pages 449-458. ISSN 1750-5836. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2015.06.002>.
- Bundesverfassungsgericht. (2021). *Verfassungsbeschwerden gegen das Klimaschutzgesetz teilweise erfolgreich*. Pressemitteilung Nr. 31/2021 vom 29. April 2021. Retrieved from <https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/bvg21-031.html>
- CCCA (2021a): CCCA Fact Sheet Nr. 32 - Carbon Capture and Utilization (CCU). M. Lehner. Graz: CCCA. Retrieved from https://ccca.ac.at/fileadmin/00_DokumenteHauptmenue/02_Klimawissen/FactSheets/32_carbon_capture_and_utilization_ccu_202104.pdf
- CCCA (2021b): Fact Sheet Nr. 35 - Temperatureentwicklung in Österreich im globalen Kontext. : B. Chimani, M. Ganekind, M. Olefs. Graz: CCCA. Retrieved from https://ccca.ac.at/fileadmin/00_DokumenteHauptmenue/02_Klimawissen/FactSheets/35_temperatureentwicklung_in_oesterreich_202110.pdf
- Dowell, N., Fennell, P. S., Shah, N., & Maitland, G. C. (2017). The role of CO₂ capture and utilization in mitigating climate change. *Nature Climate Change* 7, pp. 243-249. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/nclimate3231>
- Eisenmenger, N., Plank, B., Milota, E., & Gierlinger, S. (2020). *Ressourcennutzung in Österreich 2020*. Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Retrieved from https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/publikationen/bericht2020.html
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M., Andrew, R., Hauck, J., Olsen, A., . . . Peters, W. (2020). Global Carbon Budget 2020. *Earth System Science Data Discussions* 12 (4), pp. 3269-3340. Retrieved from <https://essd.copernicus.org/articles/12/3269/2020/>
- Gatti, L.V., Basso, L.S., Miller, J.B. et al. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature* 595, 388–393 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>
- Grubler, A., Wilson, C., & Bento, N. (2018). A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies. *Nat Energy* 3, pp. 515-527. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0172-6>
- IPCC. (2005). IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/carbon-dioxide-capture-and-storage/>
- 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,. In Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. Shukla, . . . T. Waterfield (Hrsg.). Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf
- IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In M. Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. Connors, C. Péan, S. Berger, . . . B. Zhou (Hrsg.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. pp. 3–32). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. Retrieved from https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In H. Pörtner, D. Roberts, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, . . . B. Rama (Hrsg.). Cambridge University Press. Retrieved from https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf
- Kirchengast, G., & Steininger, K. (2022). *Wegener Center Statement Juli 2022 — ein Update zum Statement vom September 2021 (Update zum Ref-NEKP der Wissenschaft): Treibhausgasbudget für Österreich auf dem Weg zur Klimaneutralität 2040*. Graz: Wegener Center für Klima und Globalen Wandel, Universität Graz. Retrieved from <https://wegcloud.uni-graz.at/s/LoLkG7YkGoJ9ZwR>
- Kirchengast, G., Kromp-Kolb, H., Steininger, K., Stagl, S., Kirchner, M., & Ambach, C. (2019). Referenzplan als Grundlage für einen wissenschaftlich fundierten und mit den Pariser Klimazielen in Einklang stehenden Nationalen Energie- und Klimaplan für Österreich (Ref-NEKP). In CCCA (Hrsg.). Wien: Verlag der ÖAW. Retrieved from https://epub.oeaw.ac.at/0xc1aa5576_0x003b2d00.pdf
- Köppl, A., Schleicher, S., Mühlberger, M., & Steininger, K. (2020). *Klimabudget Wien - Klimaindikatoren im Rahmen eines Klimabudgets*. WIFO. Retrieved from https://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=66396&mime_type=application/pdf
- Lamboll, R., Nicholls, Z., Smith, C., Kikstra, J., Byers, E., Rogelj, J. (2022). Assessing the size and uncertainty of remaining carbon budgets. *Nature Portfolio*, Preprint. Retrieved from <https://www.researchsquare.com/article/rs-1934427/v1>.
- Meyer, L., & Steininger, K. (2017). *Das Treibhausgas-Budget für Österreich, Scientific Report No. 72-2017*. Graz: Wegener Center Verlag. Retrieved from https://www.global2000.at/sites/global/files/CO2-Budget_Studie.pdf
- Munoz, P., & Steininger, K. (2010). Austria's CO₂ responsibility and the carbon content of its international trade. *Ecological Economics* 69(10). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800910002235>

- Nabernegg, S. (2021). Emissionen hin oder her: Wer stößt sie aus und wieviel ist zuviel? In A. & Beigewum (Hrsg.), *Klimasoziale Politik: Eine gerechte und Emissions-freie Gesellschaft gestalten* (pp. 175-183). bahoe books.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2022). *National Centers for Environmental Information*. Retrieved from Trends in Atmospheric Carbon Dioxide: https://gml.noaa.gov/webdata/ccgg/trends/co2/co2_annmean_gl.txt
- NEKP. (2019). Österreichs integrierter „Nationaler Energie- und Klimaplan“. Retrieved from https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/nat_klimapolitik/energie_klima_plan.html
- Pichler, C., & Steininger, K. (2019). *Das Treibhausgasbudget für die Stadt Graz. Die aktuell der Stadt Graz zuzurechnenden Treibhausgas-Emissionen als Basis für sowohl Mitigationpfade als auch die Zurechnung des Carbon Budgets für Graz*. Graz: Wegener Center Verlag. Retrieved from https://www.umweltservice.graz.at/infos/andere/Treibhausgasbudget_Graz_2019.pdf
- Rogelj, J., Forster, P., & Kriegler, E. (2019). Estimating and tracking the remaining carbon budget for stringent climate targets. *Nature* 571, pp. 335-342. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1368-z>
- Schleicher, S., & Kirchengast, G. (2022). *Monitoring der österreichischen Treibhausgas-Emissionen bis 2021 und Ausblick bis 2030 im Rahmen der europäischen Klimaziele*. Graz: Wegener Center für Klima und Globalen Wandel, Universität Graz. Retrieved from <https://wegcccloud.uni-graz.at/s/65GyKoKtq3zeRea>
- Schleicher, S., & Radunsky, K. (1997). *Die österreichische CO₂-Bilanz 1996 - Struktur und Dynamik der österreichischen CO₂-Emissionen*. Graz: APCC. Retrieved from https://www.accc.gv.at/pdf/CO2_96.pdf
- Schwarzl, I., Rieder, H., Formayer, H., & Schwarzfurtner, K. (2021). SDG13. In Allianz Nachhaltige Universitäten Österreich (Hrsg.), *UniNEtZ-Optionenbericht: Österreichs Handlungsoptionen zur Umsetzung der UN-Agenda 2030 für eine lebenswerte Zukunft*. Wien. Retrieved from https://www.uninetz.at/optionenbericht_downloads/SDG13_Target_13_2_u_13_3.pdf
- Sommer, M., Sinabell, F., & Streicher, G. (2021). *Ein Ausblick auf die Treibhausgasemissionen in Österreich 2021 und 2022 (An Outlook on Greenhouse Gas Emissions in Austria in 2021 and 2022)*. WIFO Working Papers 628. Retrieved from https://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=67068&mime_type=application/pdf
- Stangl M., Formayer H., Hofstätter M., Orlik A., Andre K., Hiebl J., Steyrer G., Michl C. (2019): *Klimastatusbericht 2018*, CCCA (Hrsg.) Wien. Retrieved from <https://ccca.ac.at/wissenstransfer/klimastatusbericht-2018>
- Statista. (2022) Entwicklung der Weltbevölkerungszahl von Christi Geburt bis zum Jahr 2021. Abgerufen am 19.10.2022 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1694/umfrage/entwicklung-der-weltbevoelkerungszahl/>

- Statistik Austria. (2022) Bevölkerung zu Jahres-/Quartalsanfang. Abgerufen am 19.10.2022, von <https://statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/bevoelkerung/bevoelkerungsstand/bevoelkerung-zu-jahres-/quartalsanfang>
- Steininger, K., Meyer, L., Nabernegg, S., & Kirchengast, G. (2020a). Sectoral carbon budgets as an evaluation framework for the built environment. *Buildings and Cities* 1(1), pp. 337-360. Retrieved from <https://journal-buildingscities.org/articles/10.5334/bc.32/>
- Steininger, K., Meyer, L., Schleicher, S., Riahi, K., Williges, K., & Maczek, F. (2020b). *Effort Sharing among EU Member States: Green Deal Emission Reduction Targets for 2030*. Graz: Wegener Center Verlag.
- Steininger, K.W., Bednar-Friedl, B., Knittel, N., Kirchengast, G., Nabernegg, S., Williges, K., Mestel, R., Hutter, H.-P., Kenner, L. (2020c), Klimapolitik in Österreich: Innovationschance Coronakrise und die Kosten des Nicht-Handelns, Wegener Center Research Briefs 1-2020, Wegener Center Verlag, Universität Graz, Austria, Juni 2020. Retrieved from <https://doi.org/10.25364/23.2020.1>
- Steininger, K., Munoz, P., Karstensen, J., Peters, G., Strohmaier, R., & Velazquez, E. (2018). Austria's consumption based greenhouse gas emissions: Identifying sectoral sources and destinations. *Global Environmental Change* 48, pp. 226-242. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378017304508>
- Steininger, K., Nabernegg, S., & Lackner, T. (2022). *Konsum- und produktionsbasiertes Treibhausgas-Budget für die Steiermark und Aufteilungsansätze im Kontext der Klima- und Energiestrategie, Analyse im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung*. Graz. Retrieved from https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/12449173_128523298/7d41f413/THG-Budget_Stmk_WegenerCenter_Feb2022%20%28002%29.pdf
- Tokarska, K. B., & Zickfeld, K. (2015). The effectiveness of net negative carbon dioxide emissions in reversing anthropogenic climate change. *Environ. Res. Lett.* 10. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/9/094013/pdf>
- Umweltbundesamt. (2015). *Hauptergebnisse der THG-Szenarien bis 2050 (EU MONMECH 2015)*. Retrieved from https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/energie/thg_szenarien_bis_2050.pdf
- Umweltbundesamt. (2021a). *Austria's National Inventory Report 2021*. Retrieved from <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0761.pdf>
- Umweltbundesamt. (2021b). *Klimaschutzbericht 2021*. Umweltbundesamt. Retrieved from <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0776.pdf>
- Umweltbundesamt. (2022). *Austria's National Inventory Report 2022*. Retrieved from <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0811.pdf>
- UNFCCC. (2015). Adoption of the Paris Agreement. Decision FCCC/CP/2015/L.9 32. Retrieved from <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>

- United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). *Emissions Gap Report 2020*. Nairobi. Retrieved from <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). *Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies*. Nairobi. Retrieved from <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>
- von Weizäcker, E., & Wijkman, A. (2018). *Come On!: Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet, Club of Rome*. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4939-7419-1>
- Warszawski, L. (2021). All options, not silver bullets, needed to limit global warming to 1.5 °C: a scenario appraisal. *Environmental Research Letters*, 16(064037). Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abfeec>
- Williges, K., Meyer, L. H., Steininger, K. W., & Kirchengast, G. (2022). Fairness critically conditions the carbon budget allocation across countries. *Global Environmental Change*, Vol. 74. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095937802200019X>
- Windsperger, A., Windsperger, B., Bird, D., Jungmeier, G., Schwaiger, H., Frischknecht, R., . . . Buchegger, A. (2017). *Life cycle based modelling of greenhouse gas emissions of Austrian consumption. Final Report of the Research Project to the Austrian Climate and Energy Fund*. Vienna. Retrieved from <https://www.wko.at/branchen/industrie/studie-climaconsum.pdf>
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU). (2009). *Sondergutachten: Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz*. Berlin. Retrieved from https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/sondergutachten/sg2009/pdf/wbgu_sn2009.pdf
- World Meteorological Organization. (2020). *The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2019. Greenhouse Gas Bulletin, No. 16*. Retrieved from https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10437

Alle Links wurden am 26.7.2022 abgerufen.

Glossar

CO₂-Neutralität = allen menschlich verursachten CO₂- Emissionen steht eine gleich große Menge an CO₂-Entfernung aus der Atmosphäre gegenüber (“Carbon Dioxide Removal”). Das entfernte CO₂ wird in natürlichen oder technologischen Senken aufgenommen und langfristig gespeichert; die CO₂-Bilanz in der Atmosphäre beträgt somit null.

Kippunkte/Kippelemente = Bei Kippelementen im Erdklimasystem wird ein Kipppunkt angenommen, bei dessen Überschreitung diese in einen qualitativ neuen Zustand versetzt werden (bspw. das Abschmelzen des Grönland Eisschildes). Bereits geringe Änderungen im Klimasystem können bewirken, dass Kippunkte erreicht werden, was weitreichende Umweltauswirkungen nach sich zieht. Diese Auswirkungen können die Lebensgrundlage vieler Menschen gefährden. Auch ist es möglich, dass sich all diese Entwicklungen gegenseitig beeinflussen und das Überschreiten eines Kipppunktes indirekt die Überschreitung eines anderen auslösen könnte (Dominoeffekt).

Klimaneutralität = allen menschlich verursachten THG-Emissionen steht eine in CO₂ Äquivalenten gleich große Menge an THG-Entfernung aus der Atmosphäre gegenüber (größtenteils aus “Carbon Dioxide Removal”). Die entfernten THG werden in natürlichen oder technologischen Senken aufgenommen und langfristig gespeichert; die durch THG-Emissionen verursachten Auswirkungen auf das Klima (Klimabilanz) sind somit null.

Kohlenstoffbindung = langfristige Speicherung von Kohlenstoff, z. B. in Bäumen, Wurzeln, Böden, Ozeanen

Netto-Null = Klimaneutralität (siehe oben); für eine Weiterentwicklung in eine Zwei-Stufen-Definition von Netto-Null und Klimaneutralität zur Praxisunterstützung eines Parisziel-kompatiblen Klimaschutz-Managements siehe <https://klimaneutral.uni-graz.at/carbon-management/>

Nicht-CO₂-Emissionen/Non-CO₂-Emissionen = alle THG-Emissionen, die sich auf andere THG als CO₂ beziehen (insbesondere auf Methan, Lachgas und fluorierte Gase; siehe auch Definition THG in diesem Glossar)

Paris Agreement / Übereinkommen von Paris = ein von 196 Staaten verabschiedeter, völkerrechtlich bindender Vertrag, zu dem sich auch Österreich verpflichtet hat. Das Ziel des Vertrags ist, die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter +2°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, mit Anstrengungen zur Erreichung von maximal +1,5°C. Den Ländern des globalen Südens sagt das Übereinkommen substantielle finanzielle Hilfe in der Klimaanpassung und im Klimaschutz zu.

Paris-kompatibel = Maßnahmen oder Ziele, die mit dem Paris Agreement kompatibel sind

Reduktionspfade = errechnete Wege von aktuellen THG-Emissionen bis zur Klimaneutralität unter Einbezug verschiedener Grenzwerte und im Einklang mit THG-Budgets über den Reduktionszeitraum. Achtung: Nicht alle in der Literatur genannten Pfade sind mit dem noch verfügbaren THG-Budget kompatibel

Treibhausgase (THG) = verschiedene Gase in der Erdatmosphäre, die den Treibhauseffekt verstärken und so zur globalen Erwärmung und zum Klimawandel beitragen. Zu den wichtigsten THG zählen laut Kyoto-Protokoll: Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und fluorierte Gase (oft als F-Gase bezeichnet).

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) = Das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen ist ein völkerrechtlicher Vertrag aus dem Jahr 1992, dessen Ziel es ist, eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems zu verhindern und die globale Erwärmung zu verlangsamen. Das UNFCCC wurde von 197 Staaten, darunter auch Österreich, ratifiziert.

Impressum:

Climate Change Centre Austria

Dänenstraße 4

1190 Wien

info@ccca.ac.at

www.ccca.ac.at