

Konsum- und produktionsbasiertes Treibhausgas-Budget für die Steiermark und Aufteilungsansätze im Kontext der Klima- und Energiestrategie

Karl W. Steininger, Stefan Nabernegg und Teresa Lackner

Wegener Center für Klima und Globalen Wandel, Universität Graz

Februar 2022

Inhalt

Zusammenfassung / Executive Summary.....	2
1. Grundlagen und konzeptionelle Details eines globalen und regionalen Treibhausgas-Budgets ...	4
1.1 Das Konzept „Treibhausgas-Budget“	4
1.2 Das globale Treibhausgas-Budget.....	4
1.3 Temperaturerhöhung hängt von kumulativen globalen Emissionen ab	5
1.4 Senken und negative Emissionen	7
1.5 Skalierung auf nationale Ebene	7
1.6 Produktions- oder konsumbasierte Emissionen: wie wird das Budget verbraucht?.....	8
1.7 Ein EU-Spezifikum: ETS und non-ETS Sektoren.....	9
2. Produktions- und konsumbasierte Emissionen Österreichs und der Steiermark	10
2.1 Produktions- und konsumbasierte Emissionen Österreichs.....	10
2.2 Produktions- und konsumbasierte Emissionen der Steiermark	11
3. Konzept zur Skalierung des globalen Treibhausgas-Budgets auf Regionen und Sektoren, differenziert nach konsum- und produktionsbasiertem Verbrauch	14
4. Ermittlung und sektorale Aufteilung eines Treibhausgas-Budgets für die Steiermark unter Berücksichtigung konsumbasierter und produktionsbasierter Emissionsverrechnung.....	17
4.1 Das konsum- und produktionsbasierte Treibhausgas-Budget für Österreich	17
4.2 Das konsum- und produktionsbasierte Treibhausgas-Budget für die Steiermark im Kontext der Klima- und Energiestrategie.....	19
5. Pfade, Maßnahmen und Monitoring zur Einhaltung des Treibhausgas-Budgets der Steiermark	24
Literatur.....	27
Anhang	30

Zusammenfassung / Executive Summary

Ziel der vorliegenden Studie ist eine Rahmensetzung für die Klima- und Energiestrategie durch die Ableitung eines steirischen Treibhausgas-Budgets (THG-Budgets) sowie von exemplarischen Emissionspfaden zu dessen Einhaltung. Damit soll ein Ausgangspunkt für die Gestaltung eines evidenzbasierten Entscheidungsprozesses unter Einbindung von Stakeholdern aus Politik, Industrie und anderen Interessensvertretungen geschaffen werden. Die ermittelten THG-Budgets bieten eine Grundlage für die Maßnahmengestaltung und deren Monitoring.

Hauptaussagen:

- Bei der Festlegung von „fairen“ nationalen bzw. regionalen THG-Budgets gilt es für deren Verbrauch sowohl produktionsbasierte als auch konsumbasierte Emissionen zu berücksichtigen.
- Die konsumbasierten Emissionen der Steiermark betragen im Jahr 2018 15,8 MtCO₂eq und überstiegen die produktionsbasierten (13,7 MtCO₂eq) damit um 15%.
- Durch die Anwendung des equal-per-capita Ansatzes wird für die Steiermark ein „faibles“ THG-Budget abgeleitet, das für den Verbrauch durch konsumbasierte bilanzierte Emissionen maximal verfügbar ist. Dieses konsumbasierte THG-Budget für 2021-2050 beträgt 94 MtCO₂eq für die Temperaturziel-Einhaltung von 1,5°C mit 50% Wahrscheinlichkeit (bzw. 59 MtCO₂eq für die Temperaturziel-Einhaltung von 1,5°C mit 67% Wahrscheinlichkeit).
- Von dem konsumbasierten THG-Budget wird in weiterer Folge ein produktionsbasiertes THG-Budget (d.h. zum Verbrauch durch produktionsbasierte Emissionen) für die Steiermark abgeleitet. Dabei wurde sowohl die derzeitige Emissionsstruktur als auch die spezifische Wirtschaftsstruktur des Standorts Steiermark berücksichtigt. Dieses produktionsbasierte THG-Budget für 2021-2050 beträgt 78 MtCO₂eq für die Temperaturziel-Einhaltung von 1,5°C mit 50% Wahrscheinlichkeit (bzw. 48 MtCO₂eq für die Temperaturziel-Einhaltung von 1,5°C mit 67% Wahrscheinlichkeit).
- Dabei zeigt sich, dass ein "faibles" THG-Budget für die Steiermark wesentlich stärkere Emissionsreduktionen vorsehen würde als die auf die Steiermark direkt umgelegten EU-Zielvorgaben.
- Zudem ist die Einhaltung des THG-Budgets und damit einhergehender Pfade bzw. Zwischenziele wichtiger als der Zeitpunkt eines Netto-Null-Ziels, um das Pariser Klimaziel einzuhalten. Bei linearen Reduktionspfaden liegt der Netto-Null-Zeitpunkt für die Einhaltung des „fairen“ THG-Budgets der Steiermark noch vor 2040.
- Basierend auf einem kostenminimierenden Vorgehen hängen abgeleitete Emissionspfade steirischer Wirtschaftssektoren von sektorspezifischen Kapitalnutzungsdauern ab, womit die Umstellung auf CO₂-neutrale Produktion in unterschiedlichen Sektoren unterschiedlich schnell erfolgen wird.
- Die Einhaltung eines THG-Budgets für jeweils konsumbasierte und produktionsbasierte Emissionen erfordert teils unterschiedliche Maßnahmen, um sowohl produktionsbasiert als auch konsumbasiert bilanzierte Emissionen innerhalb ihrer Budgets zu halten.
- Seit 1990 konnten die österreichischen und steirischen produktionsbasierten Emissionen nicht wesentlich gesenkt werden. Die Größenordnung der geschätzten pandemiebedingten Reduktion in 2020 entspricht einer anhaltend notwendigen Reduktionsrate für die Einhaltung des in dieser Studie abgeleiteten produktionsbasierten THG-Budgets.

- Die Einrichtung eines kontinuierlichen Monitorings sowie eine laufende Maßnahmenaktualisierung sind essenziell für die erfolgreiche Einhaltung des THG-Budgets. Hierfür benötigt es eine verbesserte Datengrundlage auf globaler und regionaler Ebene.

Kapitelübersicht:

Die vorliegende Studie ist in fünf Kapitel untergliedert: Kapitel 1 beschreibt die Grundlagen und das Konzept eines Treibhausgasbudgets. Kapitel 2 weist die produktions- und konsumbasierten Emissionen Österreichs und der Steiermark aus. In Kapitel 3 wird das verwendete Konzept für die Herleitung eines regionalen und sektoralen THG-Budgets erläutert und in Kapitel 4 anschließend auf Österreich und die Steiermark angewandt. Schließlich werden in Kapitel 5 sektorale Reduktionspfade und Anforderungen für ein Monitoring diskutiert.

1. Grundlagen und konzeptionelle Details eines globalen und regionalen Treibhausgas-Budgets

1.1 Das Konzept „Treibhausgas-Budget“

Das Treibhausgas-Budget (THG-Budget) beziffert die noch zulässigen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) in Tonnen CO₂-Äquivalenten (CO₂eq), die weltweit noch in die Atmosphäre gelangen dürfen, 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 zu begrenzen. Aus dem globalen THG-Budget lassen sich nationale, regionale, kommunale oder sektorale THG-Budgets ableiten.

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 THG-Emissionen in Österreich bis 2040 auf netto-null zu bringen. Während solche Ziele allein häufig schon als „Paris-kompatibel“ beschrieben werden, zeigt die naturwissenschaftliche Analyse, dass für eine solche Einordnung vielmehr die Geschwindigkeit der Reduktion selbst höchst relevant ist. Denn für die Summe aller bis zur Erreichung der Netto-Null-Marke emittierten Treibhausgase gilt, dass sie innerhalb des noch zur Verfügung stehenden THG-Budgets verbleiben muss. Für die Einhaltung einer bestimmten maximalen globalen Erwärmung, wie dies das Pariser Klimaabkommen vorsieht, ist die gesamte Menge an Treibhausgasen relevant, die noch in die Atmosphäre eingebracht wird, und nicht der Zeitpunkt bis wann diese emittiert wird. Zur Implementierung derartiger politischer Vorgaben ist daher eine Ergänzung des Netto-Null-Zeitpunkts durch ein sogenanntes „THG-Budget“ erforderlich.

1.2 Das globale Treibhausgas-Budget¹

Für das Ausmaß des Klimawandels entscheidend ist die absolute Menge der klimawirksamen Emissionen, der sogenannten Treibhausgase, die in die Atmosphäre gelangen und dort die THG-Konzentration erhöhen. Diese hat sich insbesondere seit dem Beginn der Industrialisierung Mitte des 18. Jahrhunderts durch die laufend steigenden Emissionen aus menschlichen Quellen stark erhöht. Je mehr die Treibhausgasmenge in der Atmosphäre zunimmt, umso mehr verstärkt sich der Strahlungsantrieb („Treibhauseffekt“) und somit 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 (menschgemachten) Klimawandels darstellt. Soll diese Erwärmung und somit die Auswirkungen des Klimawandels, wie im Pariser Übereinkommen festgelegt, begrenzt werden, so muss die Gesamtmenge an THG-Emissionen entsprechend beschränkt werden, die noch in die Atmosphäre gelangen darf, um die THG-Konzentrationen langfristig auf einem mit den Pariser Klimazielen verträglichen Niveau zu halten.

Das globale Treibhausgas-Budget ist die Gesamtmenge an Treibhausgasen in Kohlendioxid-Äquivalenten, die weltweit noch in die Atmosphäre gelangen darf, um mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die Erwärmung auf 1,5 oder deutlich unter 2 Grad gegenüber dem vorindustriellen

¹ Dieses Subkapitel und die Argumente in Kapitel 1 beruhen insbesondere auch auf Pichler und Steininger (2019); sowie auf Meyer und Steininger (2017). Auszugsweise bestehen Überlappungen mit den (Vorarbeiten zum) geplanten Hintergrundpapier des Climate Change Centre Austria (CCCA) zum Treibhausgas-Budget.

Niveau zu begrenzen. Das weltweite THG-Budget berücksichtigt die Emissionen aller Treibhausgase. Neben Kohlendioxid (CO₂) sind das vor allem Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und fluorierte Treibhausgase (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 Strahlungsantriebs und verbleiben für wesentlich längere Zeit in der Atmosphäre als die meisten anderen Treibhausgase. Daher fokussieren der Weltklimarat und wissenschaftliche Publikationen häufig auf das robustere quantifizierbare sogenannte CO₂- bzw. Kohlenstoff-Budget („Carbon Budget“). Das globale CO₂-Budget, ist die Gesamtmenge an global noch zulässigen CO₂-Emissionen zur Erreichung der Pariser Klimaziele. Bei der Berechnung des CO₂-Budgets werden hinsichtlich der Emissionsmengen der anderen THG bestimmte Annahmen, z.B. zu Reduktionsszenarien, getroffen, und diese anhand ihrer Klimawirksamkeit in Tonnen CO₂-Äquivalente (tCO₂eq) umgerechnet. Diesen – stark von den getroffenen Annahmen abhängenden – Teil des THG-Budgets für Nicht-CO₂-Emissionen unterstellend, verbleibt dann für die CO₂-Emissionen ein verfügbares Kohlenstoff-Budget in Tonnen CO₂ (tCO₂). Das CO₂-Budget gibt somit nur die Gesamtmenge an CO₂-Emissionen an, die noch emittiert werden darf, setzt aber bei der Ableitung von Reduktionspfaden indirekt 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 zusätzliche Kohlenstoffbindung auszugleichen wären. Bei weltweiten und nationalstaatlichen Emissionsangaben werden häufig wegen der großen Mengen auch Milliarden Tonnen (Gigatonnen, Gt) oder Millionen Tonnen (Megatonnen, Mt) angegeben (Einheiten GtCO₂eq, MtCO₂eq; GtCO₂, MtCO₂).

1.3 Temperaturerhöhung hängt von kumulativen globalen Emissionen ab

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. Da sowohl Daten als auch Modelle mit Unsicherheiten behaftet sind, muss man diesen Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeiten versehen: Der sechste Sachstandsbericht des IPCC (IPCC, 2021, S. SPM-38) leitet aus den bisher verfügbaren Studien ab, dass – bezogen auf die GSAT – eine 1,5°C Temperaturerhöhung über dem vorindustriellen Niveau mit einer 50%igen Wahrscheinlichkeit eingehalten werden kann, wenn die Gesamtmenge der ab dem Jahr 2020 emittierten Kohlendioxidmenge 500 GtCO₂ nicht übersteigt. Die Wahrscheinlichkeit, den Grenzwert einzuhalten steigt auf 67% an, wenn diese Gesamtsumme unter 400 GtCO₂ bleibt².

Aus anderen, u.a. den nachfolgend zitierten, Arbeiten sind CO₂-Budgets für weitere Emissionsreduktions- und Temperaturzielpfade ableitbar. Eine besondere Bedeutung haben darin jene Pfade erlangt, die zu Ende des Jahrhunderts im Median (50% Wahrscheinlichkeit) ebenfalls eine Temperaturerhöhung innerhalb der 1,5 Grad Grenze einhalten, auf dem Weg dahin jedoch geringfügiges Übersteigen dieser Temperaturmarke zulassen, und durch die Bindung von CO₂ ausschließlich in naturbasierten Senken in der zweiten Jahrhunderthälfte kompensieren. Eine Überschreitung darf nur geringfügig ausfallen, weil auch die Bindungsmöglichkeit in naturbasierten

² Für eine noch höhere Wahrscheinlichkeit von 83% sinkt die gesamte Emissionsmenge weiter auf 300 GtCO₂.

Senken (z.B. Aufforstung und zusätzliche Bindung in (Acker-)Böden durch Humusbildung) beschränkt ist (Warszawski et al., 2021, Figure 1, Panel c)³.

Da sowohl die EU als auch Österreich auf Klimaneutralität innerhalb der ersten Jahrhunderthälfte abzielen, ist insbesondere das in der ersten Jahrhunderthälfte verfügbare globale Budget von Bedeutung und wird im Folgenden ausgewiesen (CO₂-Budget bis 2050). Ein in österreichischen Analysen oft verwendeter globaler Pfad lässt eine zwischenzeitliche globale Temperaturerhöhung bis zu 1,65 °C zu, und hält 1,5 °C im Median zum Ende des Jahrhunderts ein (d.h. zum Ende des Jahrhunderts wird die Temperaturgrenze mit 50% Wahrscheinlichkeit eingehalten). Rogelj et al. (2019) weisen für diesen Pfad ein globales CO₂-Budget für den Zeitraum 2017-2050 in Höhe von 700 GtCO₂ aus.⁴ 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 550 GtCO₂.

Anhand des aktuellen globalen Emissionsanteils des Treibhausgases Kohlendioxid in allen THG-Emissionen (rund 70%) kann daraus ein Treibhausgas-Budget in CO₂-Äquivalenten – d.h. für CO₂- und Nicht-CO₂-Treibhausgase – abgeleitet werden. Das erstgenannte Budget (700 GtCO₂) beträgt – für alle Treibhausgase – 1000 GtCO₂eq, das letztgenannte (550 GtCO₂) beträgt für alle Treibhausgase 780 GtCO₂eq (vgl. Tabelle 1 mit Quellen-Angabe).

Tabelle 1 fasst die letztgenannten globalen Treibhausgas- und CO₂-Budgets für das 1,5 °C Ziel des Pariser Abkommens (UNFCCC, 2015) zusammen für verschiedene Wahrscheinlichkeiten es zu erreichen. Dieses Temperaturziel (Erreichung der 1,5 Grad zum Ende des Jahrhunderts, mit zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur) wird oft als „deutlich unter 2°C, mit Erreichung des 1.5°C Ziels zum Ende des Jahrhunderts“ interpretiert.

Tabelle 1 Aus der Literatur entnommene, global kumulativ noch mögliche CO₂eq-Emissionen bzw. CO₂-Emissionen, die mit verschiedenen Wahrscheinlichkeiten zur Einhaltung der Nicht-Überschreitung des 1,5°C Limits zum Ende des Jahrhunderts (und zwischenzeitlich geringfügiger Überschreitung der Temperatur) führen. Dabei wird für die CO₂-Budgets implizit eine zeitgleiche Reduktion der Nicht-CO₂-Treibhausgasemissionen angenommen.

Emissions-Budgets zur Nicht-Überschreitung der 1,5 °C Erwärmung (mit zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur bis ~1,65 °C)	Wahrscheinlichkeit für die Einhaltung des Temperatur-Limits	
	50% (1:1)	67% (2:1)
Treibhausgase	1000 GtCO ₂ eq 2017-2050	780 GtCO ₂ eq 2017-2050
Quelle: Ref-NEKP (2019), auf Basis IPCC (2018), Rogelj et al. (2019), seither bestätigt durch Warszawski (2021)		
Kohlendioxid	700 GtCO ₂ 2017-2050	550 GtCO ₂ 2017-2050
Quelle: Rogelj et al. (2019)		

³ Warszawski et al. (2021) gehen in einem mittleren Szenario als untere Grenze für das Potenzial von 2,5 GtCO₂ pro Jahr aus, auf folgende Senken beschränkt: Carbon direct removal by agriculture, forestry and other land use change CDR(AFOLU).

⁴ Für die zweite Jahrhunderthälfte werden dabei weitere 100 GtCO₂ verfügbar belassen.

1.4 Senken und negative Emissionen

Von den globalen THG-Emissionen, die in die Atmosphäre gelangen, wird ein Teil vom Ozean und von der Vegetation und den Böden aufgenommen (Friedlingstein et al., 2020). Dies ist bei der Berechnung des globalen Treibhausgas-Budgets berücksichtigt. Steigerung der Kohlenstoffsinken können das Kohlenstoff-Budget erhöhen. Diese Steigerung kann auf natürliche Weise erfolgen, z.B. indem mehr Waldfläche zugelassen oder durch veränderte landwirtschaftliche Praktiken mehr Kohlenstoff aus der Atmosphäre im Boden als Humus gespeichert wird. Es gibt aber auch Ansätze, die vorhandenen 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 Gaslagerstätten erfolgen, oder durch Verpressung in Bodenschichten, die z.B. durch Aquifere gegen die Oberfläche abgeschirmt sind. Es gibt auch Überlegungen das CO₂ in tiefe Ozeanschichten zu verbringen. Diese Technologien werden als Carbon Capture and Storage (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 als negative Emissionen in die Bilanzen ein. 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).

Keine dieser technologischen Methoden ist derzeit technisch ausgereift, auf die notwendigen Größenordnungen skalierbar, oder – bezogen auf CCS – in ihren Langzeitfolgen und in möglichen Nebenwirkungen ausreichend geprüft. Auch Energieaufwand und Kosten schließen den Einsatz mancher dieser Technologien derzeit aus. Deshalb beziehen die im Folgenden herangezogenen Szenarien ausschließlich natürliche Senken mit ein (Aufforstung, Humusaufbau).

Für die Budgetüberlegungen sind diese weiteren Technologien jedoch insofern von Bedeutung, als in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zudem angenommene negative Emissionen ein höheres Treibhausgas-Budget für die Phase davor (erste Jahrhunderthälfte) zulassen würden als in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt. In anderen Worten berücksichtigt die vorliegende Arbeit nur vertretbare Senken (“reasonable” in der Begrifflichkeit von Warszawski et al. (2021, Figure 1, Panel d)), nicht jedoch herausfordernde oder spekulative negative Emissionen. Zudem wird für die globalen und regionalen Treibhausgas-Budgets unterstellt, dass die derzeit bestehenden Senken (der Sektor Land Use and Land Use Change and Forestry, LULUCF) auf unverändertem Niveau (global und national bzw. regional) wirksam bleiben.

1.5 Skalierung auf nationale Ebene

Um von diesen auf globaler Ebene berechneten Zahlen auf eine nationale oder regionale Ebene zu kommen, gibt es verschiedene Ansätze. Einer der häufigsten ist der sogenannte „*equal per capita*“ Ansatz (aufbauend auf WBGU (2009)), bei dem das Budget seit In-Kraft-Treten des Pariser Abkommens mit Ende 2016 nach Bevölkerungszahlen auf die Staaten (oder Regionen in diesen) 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 1. Jänner 2017 bereits emittierten Mengen sind von diesem zugeteilten Budget abzuziehen.

Eine zweite, häufig bedachte Herangehensweise zur Berechnung nationaler THG-Budgets beruht auf dem auch in WBGU (2019) 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 hingegen die Emissionen deutlich reduzieren (Meyer & Steininger, 2017; Köppl et al., 2020).

Beide Ansätze weisen aktuell hoch emittierenden Industrieländern vergleichsweise größere Budgets zu, als dies aus mehreren Fairnessüberlegungen gerechtfertigt werden kann. Aus Fairnessgründen können zum einen hohe historische Emissionen berücksichtigt werden (Industriestaaten haben ihr THG-Budget dann schon bereits wesentlich stärker, allenfalls auch vollständig, aufgebraucht), auch kann der in Zukunft global abnehmende Bevölkerungsanteil der Industriestaaten berücksichtigt werden (Meyer & Steininger, 2017; Köppl et al., 2020). Weiters können Kapazitätsüberlegungen ins Treffen geführt werden, laut denen reiche Länder über mehr Ressourcen verfügen, um eine Transition zur Klimaneutralität durchzuführen, wie auch Bedürfnisüberlegungen, die berücksichtigen, dass in Ländern des globalen Südens vielfach Grundbedürfnisse noch nicht allgemein erfüllt sind und diese Länder daher noch einen größeren Anspruch haben. Williges et al. (2022) wägen diese Argumente ab, quantifizieren deren individuelle Beachtung für alle Länder der Erde und schlussfolgern, dass (1) es sehr starke Argumente für einen „equal per capita“ Ansatz gibt, der durch weitere Qualifikationen (Bedürfnisse, Kapazität, historische Emissionen) zu modifizieren ist, (2) ein „grandfathering“ wie es durch den contraction and convergence (Verringerung und Konvergenz) Ansatz zum Ausdruck kommt hingegen – zumindest in dieser Form – schwerlich nach allgemeinen moralischen Grundsätzen argumentierbar ist.

Eine Adaption des aufgrund von Fairnessüberlegungen erweiterten „equal per capita“ Budgetansatzes wäre durch den Handel von Budgetanteilen zwischen einzelnen Ländern möglich. Dies ermöglicht den Industrienationen, ihren Anteil zu erhöhen, indem sie Entwicklungsländer darin unterstützen, ihr eigenes Budget nicht auszuschöpfen (von Weizsäcker & Wijkman, 2018). Das ist insofern attraktiv, als es den Industrienationen sehr schwerfällt, mit ihrem Budget auszukommen, während Entwicklungsländer, 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 in den Entwicklungsländern eingetauscht werden.

1.6 Produktions- oder konsumbasierte Emissionen: wie wird das Budget verbraucht?

Wurde nun ein CO₂-Budget für ein (Bundes-)Land ermittelt, das angibt wieviel Emissionsausstoß durch dieses (Bundes-)Land noch zulässig ist, wenn die Ziele des Pariser Abkommens eingehalten werden, so ist zunächst zu klären welche Emissionsaktivitäten zu einem Verbrauch dieses Budgets führen. In einer Weltwirtschaft mit globalisierten Wertschöpfungsketten können Akteure (Nationalstaaten, Regionalregierungen, Unternehmen, Privathaushalte) einerseits auf die gewählten Produktionsverfahren Einfluss nehmen (und damit die sogenannten produktionsbasierten Emissionen 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 Emissionen).

Die internationale Emissionsmetrik gemäß UN Reporting (UNFCCC) verwendet den „produktionsbasierten“ Ansatz und rechnet somit Emissionen jeweils jenem Staat zu, in dem die Emissionen anfallen, bzw. in dem die fossilen Brennstoffe verkauft werden. So werden Österreich alle Emissionen angerechnet, die aus fossilem Energieeinsatz im Inland entstehen. Aus Datenerhebungsgründen werden einzig bei Emissionen aus Treibstoffen alle Emissionen die aus Treibstoffkäufen in Österreich resultieren unserem Land zugerechnet, selbst wenn dieser Treibstoff dann in anderen Ländern verfahren wird. Umgekehrt werden die Emissionen, die z.B. in der Mobiltelefonproduktion in China anfallen, unter diesem Ansatz auch dann der Volksrepublik China angerechnet, wenn diese Mobiltelefon-Produkte nach Österreich exportiert werden.

Bei dem „konsumbasierten“ Ansatz werden die Emissionen hingegen jenem Staat zugerechnet, der das Produkt nutzt, d.h. aus dem die Endnachfrage kommt (wo das Produkt als Konsum- oder Investitionsgut nachgefragt wird). Dieser Ansatz wird zwar häufig als „gerechter“ empfunden, und jedenfalls als zumindest ebenso politikrelevant, ist allerdings in der Erhebung mit größeren Unsicherheiten behaftet, weil die Emissionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette dem Endprodukt zugerechnet werden müssen. Für Österreich ergeben Berechnungen für die konsumbasierten Emissionen einen Aufschlag in der Größenordnung von 40 - 60% auf die produktionsbasierten Emissionen (Muñoz & Steininger, 2010; Steininger et al., 2018).

Skaliert man die Emissionen noch weiter auf die subnationale Ebene, etwa auf die einzelnen Bundesländer Österreichs, herunter, bekommt diese Unterscheidung noch mehr Bedeutung, da z.B. im Bundesland Wien ein Großteil der Bevölkerung Österreichs lebt, der Anteil am nationalen Treibhausgas-Budget daher allein auf Basis eines pro-Kopf Schlüssels hoch ausfällt, die Produktionsstätten aber größtenteils in anderen, bevölkerungsärmeren Bundesländern (insbesondere auch der Steiermark) liegen. Letztere würden daher bei reiner pro-Kopf Zuteilung ein kleines Treibhausgas-Budget, aber überproportionale produktionsbasierte Emissionen aufweisen. Der Ansatz, dass es die konsumbasierte Bilanzierung der Emissionen ist, die das österreichische THG-Budget aufbraucht, macht ein pro-Kopf Herunterbrechen des Budgets auf die Bundesländer somit wesentlich plausibler.

1.7 Ein EU-Spezifikum: ETS und non-ETS Sektoren

In den Mitgliedsstaaten der EU wird unterschieden zwischen jenen Emissionen, die von Großemittenten stammen und die über das Europäische Emissionshandelssystem (ETS) auf europäischer Ebene geregelt werden, und an anderen (non-ETS) Emissionen, für deren Reduktion die einzelnen Staaten durch auf ihrer Ebene zu setzende Maßnahmen verantwortlich sind („Effort Sharing“). Das Pariser Klimaabkommen bezieht sich naturgemäß auf alle Emissionen, aber manche nationalen Regierungen innerhalb der EU fühlen sich nur für den non-ETS Bereich zuständig und möchten 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 Treibhausgas- 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. Dabei ist allerdings zu beachten, dass diese Reduktion des THG-Budgets um die Emissionen der ETS-Sektoren nur unter der Annahme eines produktionsbasierten Verbrauchs sinnvoll durchgeführt werden kann. Unterstellt man die Annahme eines konsumbasierten Verbrauchs des Budgets, ist die Trennung zwischen ETS und non-ETS Sektoren auf Grund mangelnder Datenauflösung nicht einfach zu bewerkstelligen, da auch die Nachfrage nach Gütern, die in non-ETS Sektoren produziert werden, durch die Miteinbeziehung (globaler) Lieferketten Emissionen in ETS Sektoren verursachen.

2. Produktions- und konsumbasierte Emissionen Österreichs und der Steiermark

In den Berichten des Umweltbundesamtes (Umweltbundesamt, 2021a und Anderl et al., 2020) werden die produktionsbasierten Treibhausgasemissionen Österreichs und der Bundesländer ausgewiesen. Diese umfassen die Treibhausgase CO₂, CH₄, N₂O und F-Gase und sind auf die sogenannten „Klimaschutzgesetz(KSG)-Sektoren“ Energie und Industrie (jeweils unterteilt in ETS und non-ETS Bereich), sowie Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und F-Gase aufgeteilt. Die konsumbasierten Emissionen werden auf Basis einer multiregionalen Input-Output Berechnung (siehe Steininger et al., 2018) und weiterer regionaler Daten für Österreich und die Steiermark berechnet und sind im Folgenden dargestellt. Diese sind, im Gegensatz zu den produktionsbasierten Emissionen, anhand der privaten und öffentlichen Endnachfrage sowie der Investitionsnachfrage der Unternehmen nach 65 Wirtschaftssektoren berechnet und in weiterer Folge zusammengefasst ausgewiesen. In den folgenden Abschnitten wird kurz auf die produktions- und konsumbasierten Emissionen auf österreichischer Ebene und anschließend auf die Emissionen der Steiermark eingegangen. Aus Konsistenzgründen wird sowohl für die produktionsbasierten und konsumbasierten, als auch für die österreichweiten und die Steiermark betreffenden Emissionen das Bezugsjahr 2018 herangezogen, da dieses das aktuellste Jahr mit ausreichend detaillierter Datenverfügbarkeit darstellt.

2.1 Produktions- und konsumbasierte Emissionen Österreichs

Österreichweit lagen die produktionsbasierten Treibhausgasemissionen bei rund 79 MtCO₂eq in 2018. Der größte Anteil fiel dabei auf Industrie und Verkehr mit je rund 30%. Weiters verursachten die Sektoren Energieerzeugung, Landwirtschaft und Gebäudebetrieb mit je rund 10%-13% relevante Emissionsanteile. Nur je rund 3% fielen in den Bereichen Abfallwirtschaft und F-Gase an. Auf die gesamte österreichische Bevölkerung aufgeteilt ergeben sich somit im Durchschnitt produktionsbasierte pro-Kopf Emissionen von rund 8,9 tCO₂eq pro Jahr (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2 Österreichische produktionsbasierte THG-Emissionen des ETS und non-ETS Bereiches 2018 nach Sektoren gemäß Klimaschutzgesetz (KSG) in MtCO₂eq.

	Emissionen 2018	
	[MtCO ₂ eq]	Anteil [%]
Industrie	24,3	30,8%
Verkehr	23,9	30,3%
Energie	10,0	12,6%
Landwirtschaft	8,2	10,3%
Gebäude	7,9	10,0%
Abfallwirtschaft	2,5	3,2%
F-Gase	2,3	2,9%
Gesamt	79,0	
Emissionen pro Kopf [t CO₂eq]	8,93	

Im Zeitverlauf konnten die österreichischen produktionsbasierten Emissionen von 1990 bis 2020 nicht wesentlich reduziert werden (Abbildung 1). Einen relevanten Rückgang zeigt das Jahr 2020, welcher jedoch pandemiebedingt und als temporärer Effekt einzuschätzen ist.

Die konsumbasierten Emissionen werden für Österreich anhand einer multiregionalen Input-Output Berechnung auf Sektorebene ermittelt und in Abbildung 1 für jene Jahre (1997, 2001, 2004, 2007, 2011

und 2014) dargestellt, in denen die zugrundeliegende Datenbasis verfügbar ist (siehe Steininger et al., 2018). Dabei zeigt sich ein relativ konstantes Verhältnis von rund 50% höheren konsumbasierten Emissionen über diesen Zeitraum. Für die weitere Berechnung in Kapitel 4.1 sind die konsumbasierten Emissionen für den Zeitraum 2017-2020 daher mittels konstantem Aufschlag von 54% (Basisjahr 2011) zu den produktionsbasierten Emissionen abgeschätzt sowie in Abbildung 1 (strichlierte Linie) dargestellt. Die durchschnittlichen konsumbasierten pro-Kopf Emissionen Österreichs lagen 2018 mit 13,8 tCO₂eq ebenfalls über den produktionsbasierten pro-Kopf Emissionen.

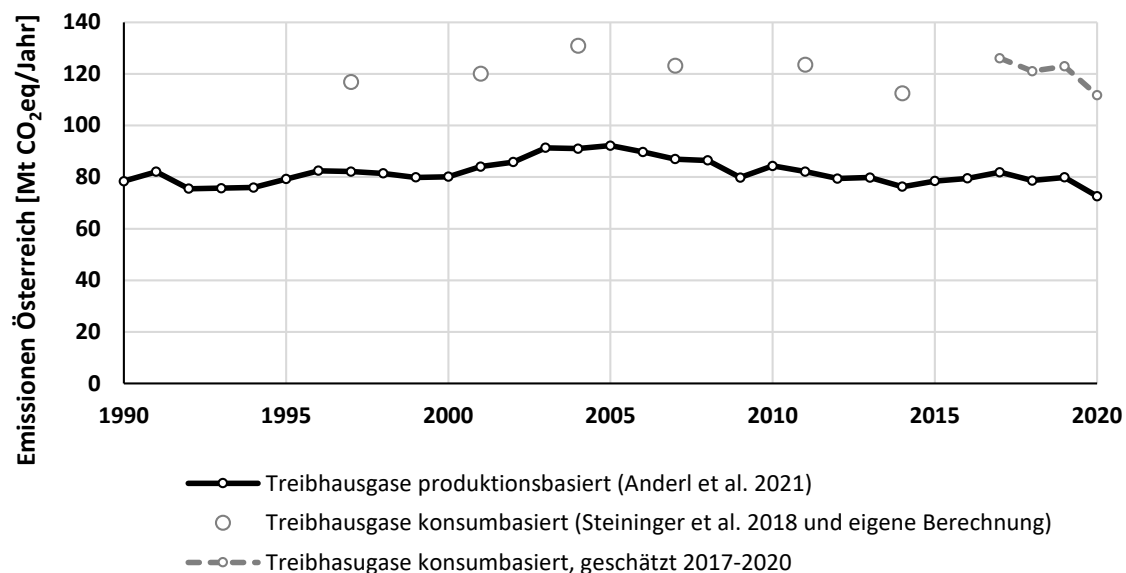


Abbildung 1 Österreichische Treibhausgasemissionen 1990-2020 nach produktionsbasierter Inventur (Anderl et al., 2021), konsumbasierter Berechnung verfügbarer Jahre (Steininger et al. 2018) und konsumbasierter Schätzung für 2017-2020.

2.2 Produktions- und konsumbasierte Emissionen der Steiermark

Mit rund 13,7 MtCO₂eq hat die Steiermark im Jahr 2018 einen, bezogen auf die Einwohnerzahl, überdurchschnittlich großen Anteil von 17% der gesamten produktionsbasierten österreichischen THG-Emissionen (Anderl et al., 2020)⁵. Dementsprechend liegen auch die pro-Kopf Emissionen in der Steiermark mit rund 11,1 tCO₂eq pro Jahr über dem Österreichschnitt von 8,9 tCO₂eq. Den größten Anteil der Emissionen verursachen Industrie (41%) und Verkehr (27%). Aus Energieerzeugung und Landwirtschaft entstehen 11% bzw. 10% der Emissionen. Direkte Emissionen des Gebäudebetriebs verursachen 7%, sowie aus Abfallwirtschaft und F-Gasen jeweils 2% (siehe Tabelle 3). Eine detailliertere Aufgliederung der produktionsbasierten Emissionen in unterschiedliche Subsektoren der Wirtschafts- und Industriebereiche ist für die Steiermark nicht verfügbar.

⁵ Während im Klimabericht der Steiermark (Land Steiermark, 2021) aktualisierte Emissionswerte für 2019 ausgewiesen werden, wird aus Konsistenzgründen mit der Berechnung der konsumbasierten Emissionen das Vergleichsjahr 2018 herangezogen. Die produktionsbasierten Emissionen der Steiermark weichen zwischen 2019 und 2018 sowohl in der Gesamthöhe (13,5 MtCO₂eq 2019 gegenüber 13,7 MtCO₂eq 2018) als auch in der sektoralen Zusammensetzung nur geringfügig voneinander ab.

Tabelle 3 Produktionsbasierte THG-Emissionen des ETS und non-ETS Bereiches in der Steiermark 2018 nach Sektoren gemäß Klimaschutzgesetz (KSG) in MtCO₂eq.

	Emissionen 2018	
	[MtCO ₂ eq]	Anteil [%]
Industrie	5,61	41%
Verkehr	3,65	27%
Energie	1,49	11%
Landwirtschaft	1,40	10%
Gebäude	0,99	7%
Abfallwirtschaft	0,32	2%
F-Gase	0,28	2%
Gesamt	13,74	
Emissionen pro Kopf [t CO₂eq]	11,06	

Im Gegensatz zu den produktionsbasierten Emissionen, die jene THG ausweisen die innerhalb der Landesgrenze ausgestoßen werden, weist eine konsumbasierte Verrechnung der Steiermark jene Emissionen zu, die durch die Endnachfrage aus der Region entlang auch vorgelagerter Lieferketten entstehen (siehe Kapitel 1.6). Diese Endnachfrage beinhaltet den Konsum aller privaten Haushalte und der öffentlichen Hand, sowie die Investitionsnachfrage der Unternehmen.

Basierend auf dem methodischen Ansatz von Pichler & Steininger (2019) wurden die konsumbasierten Emissionen der Steiermark berechnet. Hierfür wurde im ersten Schritt der Konsum der steirischen Haushalte anhand der Konsumerhebung 2019/20 (Statistik Austria, 2021a) berücksichtigt, sowie die österreichweite Nachfrage der öffentlichen Hand anhand eines Bevölkerungsschlüssels und die Investitionsnachfrage anhand des Anteils der steirischen Wirtschaftsleistung auf die Steiermark heruntergebrochen.⁶ Die konsumbasierten Emissionen der österreichischen Endnachfrage nach Sektoren wurden nach dementsprechenden Anteilen auf die steirische Endnachfrage aufgeteilt.

Die konsumbasierten Emissionen aus dieser Berechnung sind in Tabelle 4 dargestellt. Gesamt liegen die konsumbasierten Emissionen der steirischen Endnachfrage nur rund 15% über den produktionsbasierten Emissionen, während die Divergenz bei österreichweiter Betrachtung bei rund 50% liegt. Dies ist durch die in der Steiermark im Österreichvergleich hohen produktionsbasierten Emissionen aus Landwirtschaft und Industrie bedingt. Die konsumbasierten pro-Kopf Emissionen der Steiermark liegen mit 12,7 tCO₂eq pro Jahr jedoch leicht unter dem österreichweiten Schnitt von 13,8 tCO₂eq.

Auf Sektorebene werden der Landwirtschaft (genauer: den in der Steiermark nachgefragten landwirtschaftlichen Gütern) mit 0,35 MtCO₂eq konsumbasiert wesentlich weniger Emissionen zugeschrieben als produktionsbasiert im Produktionssektor Landwirtschaft in der Steiermark direkt mit 1,40 MtCO₂eq entstehen. Dies spiegelt einerseits die stärkere landwirtschaftliche Prägung der Steiermark wider, andererseits werden u.a. landwirtschaftliche Emissionen über vorgelagerte Lieferketten der Endnachfrage des Nahrungsmittelsektors mit 1,31 MtCO₂eq zugerechnet. Weitere relevante Sektoren in einer konsumbasierten Betrachtung sind private und öffentliche Dienstleistungen mit einem Anteil von 12% bzw. 9%, Gebäude- und Bauarbeiten (10%), sowie die Nachfrage nach öffentlichem Verkehr (6%) und elektrischen und elektronischen Geräten (5%). Ebenso spielen die direkten Emissionen der Haushalte durch motorisierten Individualverkehr (7%) und Heizanlagen (7%) eine relevante Rolle.

⁶ Siehe Anhang Tabelle A.1 und Tabelle A.2 für jeweilige Anteile in der Berechnung.

Die private Haushaltsnachfrage verursacht rund zwei Drittel der gesamten steirischen konsumbasierten Emissionen. Durch die Investitionsnachfrage der Unternehmen entstehen rund ein Viertel und durch die Nachfrage der öffentlichen Hand etwa 12% der konsumbasierten Emissionen. Betrachtet man die Ursprungsregionen der Emissionen, die durch die steirische Nachfrage induziert werden, so zeigt sich, dass ein Drittel der Emissionen in Österreich anfallen, ein Viertel entsteht im Rest der EU und der größte Teil mit 41% in Ländern außerhalb der EU.

Diese Anteile variieren jedoch stark zwischen den Sektoren. Die Emissionen für Nachfrage nach Textilien und Elektronik kommen beispielsweise nur zu einem sehr geringen Anteil aus Österreich und zu 70% aus Regionen außerhalb der EU. Landwirtschaftliche Produkte, Versorgungsleistungen (Energie, öffentlicher Verkehr) sowie private und öffentliche Dienstleistungen haben ihren Emissionsursprung hingegen stärker in Österreich und der EU.

Tabelle 4 Konsumbasierte THG-Emissionen der steirischen Endnachfrage 2018 nach Wirtschaftssektoren in MtCO₂eq; Anteile nach privaten Haushalten, öffentlichen Haushalten und der Investitionsnachfrage; sowie Anteile nach regionalem Emissionsausstoß in Österreich, in der restlichen EU oder außerhalb der EU.

Sektoren der Endnachfrage	[Mt CO ₂ eq]	Anteile nach Endnachfrage	Anteile nach Region des Emissionsausstoßes
Private Dienstleistungen	1,85		
Baugewerbe	1,58		
Öffentliche Dienstleistungen	1,41		
Nahrungs- und Getränkeherstellung	1,31		
MIV privater Haushalte	1,04		
Kleinfeuerungsanlagen private Haushalte	1,04		
Öffentlicher Verkehr	0,94		
Elektrische und elektronische Erzeugnisse	0,89		
Energieversorgung	0,88		
Fahrzeugbau	0,76		
Handel	0,72		
Maschinenbau	0,67		
Textilien	0,52		
Mineralölverarbeitung	0,47		
Chemische Erzeugnisse	0,45		
Sonstige Waren	0,38		
Land- und Forstwirtschaft	0,35		
Metallerzeugung	0,18		
Mineralische Erzeugnisse	0,18		
Papier	0,07		
Holzwaren	0,07		
Bergbau	0,01		
Gesamt	15,77		
Emissionen pro Kopf [t CO₂eq]	12,69	<ul style="list-style-type: none"> ■ private Haushalte ■ öffentlicher Haushalte ■ Unternehmensinvestitionen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Österreich ■ EU ■ nicht-EU

3. Konzept zur Skalierung des globalen Treibhausgas-Budgets auf Regionen und Sektoren, differenziert nach konsum- und produktionsbasiertem Verbrauch

Ziel der vorliegenden Studie ist es, ein THG-Budget für die Steiermark als Bundesland herzuleiten, welches konsistent mit dem global noch zulässigem Budget ist, konsum- und produktionsbasierte Emissionen berücksichtigt, sowie auch die unterschiedlichen wirtschaftlichen Strukturen auf regionaler Ebene (z.B. Staaten, Bundesländer). Während im globalen Emissionsausstoß naturgemäß nicht zwischen konsum- und produktionsbasierter Verrechnung unterschieden wird⁷, bekommt diese Unterscheidung auf nationaler und regionaler Ebene eine große Bedeutung wenn es darum geht, faire (und verbindliche) Ziele zum zukünftigen Emissionsausstoß zu vereinbaren. Demnach ist zu berücksichtigen, dass hoch entwickelte Industriestaaten wie Österreich weitaus höhere konsumbasierte Emissionen verursachen als produktionsbasierte, während Schwellen- und Entwicklungsländer den umgekehrten Trend aufweisen. Zudem sind die nationalen (emissionsintensiven) Industrie- und Energiesektoren nicht gleich über alle Bundesländer verteilt, sondern clustern sich oftmals in einzelnen. So weist z.B. das bevölkerungsreiche Wien hohe konsumbasierte und vergleichsweise niedrige produktionsbasierte Emissionen auf, während Oberösterreich und Steiermark durch vergleichsweise niedrigere konsumbasierte aber höhere produktionsbasierte Emissionen gekennzeichnet sind. Auf Grund der global ungleichen Verteilung von nationalen produktionsbasierten Emissionen relativ zu konsumbasierten Emissionen, benötigt es eine Festlegung jeweils eigener nationaler THG-Budgets zum Verbrauch durch produktionsbasierte und konsumbasierte Emissionen. Dabei ist es maßgeblich, dass diese Budgets die wirtschaftlichen Gegebenheiten einzelner Nationen berücksichtigen und sicherstellen, dass ihre Einhaltung konsistent mit dem Pariser Klimaziel ist. Diese nationalen THG-Budgets können im nächsten Schritt auf regionale Ebenen wie die der Bundesländer heruntergebrochen werden, wobei diese Skalierung erneut auf Basis der regionalen Wirtschaftsstrukturen erfolgen sollte.

Vor diesem Hintergrund werden in der vorliegenden Studie für die Steiermark ein sogenanntes konsumbasiertes THG-Budget (d.h. zum Verbrauch durch konsumbasiert bilanzierte Emissionen) und ein produktionsbasiertes THG-Budget (d.h. zum Verbrauch durch produktionsbasiert bilanzierte Emissionen) hergeleitet. Unter der Annahme, dass alle globalen Regionen ihre THG-Budgets nach demselben Konzept konsistent festlegen, entspricht die Summe aller regionalen produktionsbasierten THG-Budgets der Summe aller regionalen konsumbasierten Budgets sowie dem globalen THG-Budget zur Einhaltung des Pariser Klimaziels. Die Einhaltung dieser Budgets wäre somit konsistent mit dem Pariser Klimaabkommen. Das in dieser Studie entwickelte Konzept zur Herleitung dieser Budgets wird in Abbildung 2 (aufgeteilt in 9 Schritten, [1]-[9]) für die Steiermark veranschaulicht.

⁷ Auf globaler Ebene entspricht die Summe der konsumbasierten Emissionen jener der produktionsbasierten Emissionen.

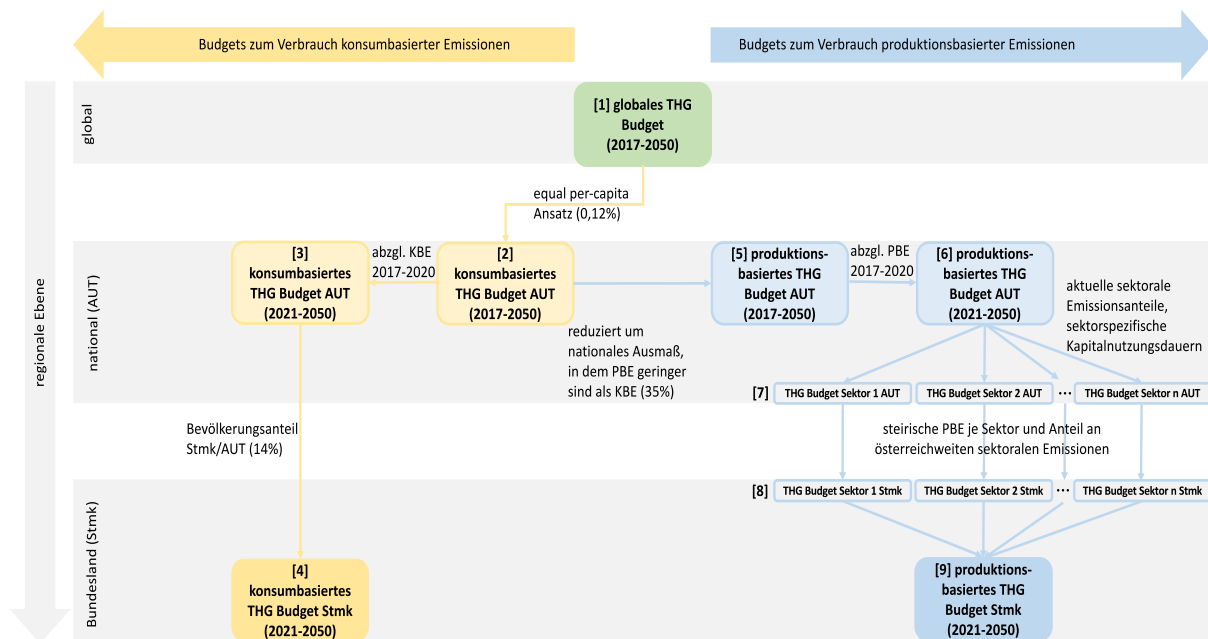


Abbildung 2 Konzept zur Skalierung des globalen Treibhausgas-Budgets auf Österreich und die Steiermark, differenziert nach konsumbasiertem (gelb) und produktionsbasiertem Verbrauchsansatz (blau) für Länder mit höheren konsumbasierten als produktionsbasierten Emissionen; KBE...konsumbasierte Emissionen, PBE...produktionsbasierte Emissionen, AUT...Österreich, Stmk...Steiermark.

Wie in Kapitel 1 erläutert, ist der wissenschaftlich etablierte (aufgrund von Fairnessüberlegungen erweiterte) equal-per capita Ansatz besonders plausibel, der das globale THG-Budget [1] durch globale gleiche pro-Kopf Zurechnung auf die nationale Ebene skaliert. Dies vor allem unter der Annahme, dass abgeleitete Budgets durch konsumbasierte Emissionen aufgebraucht werden. Demnach kann durch den equal-per-capita Ansatz ein österreichisches THG-Budget zum Verbrauch von konsumbasierten Emissionen für den Zeitraum zwischen 2017 und 2050 [2] bestimmt werden, welches 0,12%⁸ des globalen Budgets für denselben Zeitraum entspricht. Zieht man davon die konsumbasierten THG-Emissionen Österreichs ab, die bereits zwischen 2017 und 2020 ausgestoßen wurden, ergibt sich das verbleibende österreichische Budget, das ab 2021 noch zur Verfügung steht [3]. Anhand dieser pro-Kopf Zurechnung können ebenso THG-Budgets auf regionaler Ebene der Bundesländer abgeleitet werden. Da die Steiermark rund 14% der gesamten österreichischen Bevölkerung darstellt, steht ihr 14% vom letztgenannten Budget zur Verfügung. Dieses steirische THG-Budget [4] stellt eine Emissionsobergrenze für kumulierte konsumbasierte Emissionen zwischen 2021 und 2050 dar (vgl. [1]-[4] in Abbildung 2, gelb gekennzeichnet).

Obwohl die Quantifizierung konsumbasierter Emissionen auf Grund von hohen Datenanforderungen v.a. bezüglich globaler Lieferketten bislang noch mit Unsicherheiten verbunden ist und gesetzliche Reduktionsvorschriften fehlen, ist die Berücksichtigung von konsumbasierten Emissionen zentral, um der globalen Verantwortung im Kontext des Klimawandels gerecht zu werden. Der vorliegende Vorschlag für ein bundesländer-spezifisches konsumbasiertes THG-Budget setzt voraus, dass Staaten und Regionen dieser Verantwortung nachkommen.

Weiters wird vom nationalen konsumbasierten THG-Budget ein produktionsbasiertes Budget abgeleitet, welches eine Obergrenze für zukünftig noch zulässige produktionsbasierte Emissionen Österreichs darstellt. Dieses wird im nächsten Schritt auf sektorale Budgets aufgeteilt, welche

⁸Dies entspricht dem österreichischen Bevölkerungsanteil an der globalen Bevölkerung, abgeleitet von Statistik Austria (2021b) und United Nations (2019).

wiederum die Grundlage für ein steirisches THG-Budget zum Verbrauch durch produktionsbasiert bilanzierte Emissionen darstellen (vgl. [5]-[9] in Abbildung 2, blau gekennzeichnet).

Wie bereits in Kapitel 2.1 dargelegt, übersteigen Österreichs konsumbasierte Emissionen die produktionsbasierten um ca. 54% (Steininger et al., 2018). Werden die konsumbasierten Emissionen als Basis genommen, liegen somit die produktionsbasierten Emissionen 35% unter den konsumbasierten. Um diesen Überhang an konsumbasierten Emissionen, relativ zu produktionsbasierten Emissionen, zu berücksichtigen, wird das nationale konsumbasierte THG-Budget für 2017-2050 [2] somit um ebendiese 35% reduziert, um ein nationales produktionsbasiertes THG-Budget für denselben Zeitraum [5] herzuleiten. Diese Reduktion entspricht dem Ausmaß, in dem die österreichweiten produktionsbasierten Emissionen geringer sind als die konsumbasierten Emissionen. Reduziert man dieses österreichweite produktionsbasierte THG-Budget um bereits zwischen 2017-2020 angefallene Emissionen, ergibt sich das produktionsbasierte THG-Budget für 2021-2050 [6]. Um dieses produktionsbasierte THG-Budget auf die Steiermark zu skalieren, bei gleichzeitiger Berücksichtigung ihrer wirtschaftlichen Struktur im Kontext Österreichs, wird das nationale Budget zuvor auf die österreichweiten KSG-Sektoren [7] aufgeteilt.

Erster Ausgangspunkt für diese sektorale Aufteilung sind die jeweiligen Emissionsanteile im Basisjahr (hier 2018). Für die konkrete Spezifizierung kann weiters ein Kostenargument herangezogen werden, das den Einsatz installierter Produktionsanlagen bis zum Ende deren Nutzungsdauer vorsieht. Nimmt man zudem an, dass in allen Wirtschaftsbereichen emissionsneutrale Technologien bereits verfügbar sind, so können die noch notwendigen Emissionen (d.h. ein erforderliches THG-Budget) jedes Sektors durch die wirtschaftliche Nutzungsdauer des (bisher auf fossile Technologienutzung ausgerichteten) Kapitalstocks abgeleitet werden. Eine Transition zur Klimaneutralität anhand dieses Ansatzes könnte somit mit minimalen Kosten umgesetzt werden, wenn jedes Jahr genau jener „fossile“ Kapitalstock, der sich am Ende seiner Nutzungsdauer befindet, durch einen Kapitalstock zur emissionsfreien Produktion ersetzt wird. Das erforderliche THG-Budget eines Sektors fällt daher größer aus, je höher die Nutzungsdauer des derzeit noch installierten fossilen Kapitalstocks des Sektors ist. Wenn das damit ermittelte erforderliche THG-Budget über alle Sektoren das noch verfügbare THG-Budget übersteigt, wäre ein einfacher Ansatz für den nächstfolgenden Schritt die sektoralen Anteile des erforderlichen THG-Budgets auf die Gesamtgröße des noch verfügbaren THG-Budgets zu übertragen. Ebenso kann somit anhand der steiermarkweiten produktionsbasierten Emissionen je KSG Sektor und deren Anteil an österreichweiten sektoralen Emissionen ein steirisches THG-Budget pro KSG Sektor [8] bestimmt werden, welche in Summe das gesamte produktionsbasierte THG-Budget der Steiermark [9] bilden. Der hier vorgeschlagene Ansatz liefert bundesländer-spezifische konsum- und produktionsbasierte THG-Budgets, welche die derzeitige wirtschaftliche Struktur sowohl auf nationaler als auch auf regionaler Ebene der Bundesländer berücksichtigt. Bei global einheitlicher Verfolgung dieses Ansatzes sind die abgeleiteten THG-Budgets konsistent mit dem globalen THG-Budget zur Einhaltung des globalen Pariser Klimaziels. An dieser Stelle soll erwähnt sein, dass dabei allen Staaten mit derzeit höheren produktionsbasierten als konsumbasierten Emissionen (aktuell sind das z.B. China, Indien, und in Europa etwa Polen) ein nationales produktionsbasiertes THG-Budget zugewiesen wird, welches das (durch den equal per-capita Ansatz abgeleitete) konsumbasierte Budget übersteigt⁹.

⁹ Das Ausmaß bestimmt sich durch das verbleibende Budget, wenn das globale THG-Budget um die Summe der produktionsbasierten Budgets der Länder mit höheren konsumbasierten (als produktionsbasierten) Emissionen und um die Summe der konsumbasierten Budgets der Länder mit höheren produktionsbasierten Emissionen reduziert wird. Dieses verbleibende Budget wird anhand von derzeitigen produktionsbasierten Emissionsanteilen auf die Länder mit höheren produktionsbasierten Emissionen aufgeteilt, womit sich deren produktionsbasierte THG-Budgets gegenüber der konsumbasierten erhöhen.

4. Ermittlung und sektorale Aufteilung eines Treibhausgas-Budgets für die Steiermark unter Berücksichtigung konsumbasierter und produktionsbasierter Emissionsverrechnung

Im Folgenden werden, wie konzeptionell in Kapitel 3 beschrieben, die konsum- und produktionsbasierten THG-Budgets für die Steiermark hergeleitet, welche auf dem globalen THG-Budget aus Tabelle 1 basieren. Um interregionale Unterschiede in Bezug auf die Wirtschaftsstruktur innerhalb Österreichs (z.B. Dienstleistungsfokus in urbaneren Regionen vs. Landwirtschaft- oder Industriefokus in ländlicheren Regionen) zu berücksichtigen, wird das globale THG-Budget zunächst auf die nationale Ebene skaliert, bevor eine Aufteilung auf die Steiermark erfolgt.

4.1 Das konsum- und produktionsbasierte Treibhausgas-Budget für Österreich

Auf Basis des „equal per capita“ Ansatzes wird das globale THG-Budget, durch global gleiche pro-Kopf Zurechnung, auf die nationale Ebene heruntergebrochen um eine Emissionsobergrenze für Österreichs konsumbasierte Emissionen (d.h. konsumbasiertes THG-Budget) abzuleiten. Das Verhältnis der österreichischen Bevölkerung (8 837 707, Statistik Austria, 2021b) zur Weltbevölkerung (7.631.091.000, United Nations, 2019) beträgt in etwa 1:863 (Bezugsjahr 2018). Für das Einhalten des 1,5°C Ziels zum Ende des Jahrhunderts im Median und mit geringfügigem zwischenzeitlichen Überschreiten der Temperatur, steht Österreich damit im Zeitraum zwischen 2017 und 2050 ein THG-Budget in Höhe von rund 1 158 MtCO₂eq zur Verfügung. Das Budget für 2017-2050 sinkt auf rund 903 MtCO₂eq, wenn die Einhaltung des Temperaturziels mit einer höheren Wahrscheinlichkeit von zwei Drittel erfolgt (die Ableitung erfolgt aus den globalen Werten in Tabelle 1, Zeile 1, unter Anwendung des österreichischen Bevölkerungsanteils, 1:863¹⁰). Berücksichtigt man die konsumbasierten Emissionen Österreichs zwischen 2017 und 2020, kann das THG-Budget ab 2021 bestimmt werden. Eine Hürde stellt dabei die Datenverfügbarkeit für die konsumbasierte Emissionsberechnung dar. Weder sind robuste Zeitreihen der steiermärkischen konsumbasierten Emissionen zwischen 2017 und 2020 verfügbar, noch die notwendigen Daten auf globaler Ebene (z.B. jährliche globale Input-Output Tabellen), oder auf regionaler Ebene (z.B. jährliche Daten zum Konsum der Haushalte oder zur Investitionsnachfrage der Unternehmen) zur Schätzung dieser. Daher werden die konsumbasierten Emissionen Österreichs zwischen 2017 und 2020 mit dem in Steininger et al. (2018) ermittelten Aufschlag von 54% auf die produktionsbasierten Emissionen Österreichs in diesem Zeitraum abgeschätzt. Der Faktor gibt an, um wie viel Österreichs konsumbasierte Emissionen im Jahr 2011 die produktionsbasierten übersteigen und wird hier als konstant angenommen. Diese Schätzung ergibt österreichische konsumbasierte Emissionen von rund 483 MtCO₂eq zwischen 2017 und 2020. Daraus ergeben sich die konsumbasierten THG-Budgets ab 2021 in Höhe von rund 675 MtCO₂eq bei einer Temperaturziel-Einhaltung mit 50% Wahrscheinlichkeit und von rund 421 MtCO₂eq, bei einer Temperaturziel-Einhaltung mit 67% Wahrscheinlichkeit.

Ausgehend von dem österreichweiten konsumbasierten THG-Budget ab 2017 wird das dazugehörige produktionsbasierte THG-Budget ermittelt. Dafür wird ersteres um 35% reduziert, was dem Ausmaß entspricht, in dem österreichische produktionsbasierte Emissionen die konsumbasierten unterschreiten (Steininger et al., 2018). Demnach beträgt das österreichweite produktionsbasierte

¹⁰ Damit wird implizit angenommen, dass die Aufteilung sich am Anteil der österreichischen Bevölkerung zur Weltbevölkerung von 1:863 (Stand 2018) orientiert. Sollte sich die Aufteilung hingegen auch an einem zukünftigen sich verändernden Anteil orientieren, wäre dies für das verbleibende Budget bis 2050 zu berücksichtigen.

THG-Budget zwischen 2017 und 2050 rund 753 MtCO₂eq bei einer Temperaturziel-Einhaltung mit 50% Wahrscheinlichkeit und 587 MtCO₂eq, wenn die Temperaturziel-Einhaltung mit 67% Wahrscheinlichkeit erfolgt. Reduziert man diese Budgets wiederum um die angefallenen produktionsbasierten THG-Emissionen Österreichs zwischen 2017 und 2020, welche in etwa 313 MtCO₂eq¹¹ betragen, ergeben sich die dazugehörigen Budgets ab 2021 (rund 439 MtCO₂eq für 50% Wahrscheinlichkeit, rund 274 MtCO₂eq für 67% Wahrscheinlichkeit). Basierend auf dem österreichweiten CO₂ Anteil an den gesamten THG-Emissionen, welcher in etwa 84,5% beträgt (Anderl et al., 2020), können CO₂-Budgets zum Verbrauch produktionsbasierter Emissionen abgeleitet werden, wobei der Anteil des CO₂-Budgets am gesamten THG-Budget (ab 2017) dem österreichischen Anteil der CO₂-Emissionen an den Gesamtemissionen (d.h. 84,5%,) entspricht. Damit wird auch für CO₂-Budgets implizit eine zeitgleiche Reduktion der anderen THG-Emissionen (d.h. CH₄, N₂O, F-Gase) angenommen. Demnach beträgt das produktionsbasierte CO₂-Budget zwischen 2017 und 2050 rund 636 MtCO₂ bei einer Temperaturziel-Einhaltung mit 50% Wahrscheinlichkeit und rund 496 MtCO₂ bei einer Einhaltung mit 67% Wahrscheinlichkeit. Reduziert man die letztgenannten Budgets um die bereits ausgestoßenen produktionsbasierten CO₂-Emissionen zwischen 2017 und 2020 (ca. 266 MtCO₂¹²), erhält man die dazugehörigen CO₂-Budgets ab 2021 (rund 371 MtCO₂ mit 50% Temperaturziel-Einhaltung, rund 231 MtCO₂ mit 67% Temperaturziel-Einhaltung).

Wird auch die Speicherung von Kohlenstoff in spezifisch österreichischen Senken berücksichtigt, oder steigt die natürliche Speicherung in Kohlenstoffsinken in Österreich an, zum Beispiel durch geänderte land- und forstwirtschaftliche Praktiken und/oder einen höheren Wald- und Dauerwiesenanteil, so ändern sich auch die zulässigen fossilen Emissionen im selben Ausmaß. Das Netto-THG-Budget (d.h. unter Gegenrechnung von Senken und deren Erweiterung) bleibt dadurch allerdings unverändert. Das hier spezifizierte THG-Budget für Österreich, und nachfolgend in Kapitel 4.2 auch für die Steiermark, abstrahiert von Senken sowie von möglichen erweiterten Senken, da bei unveränderter Entwicklung von einem Verlust der Funktion der natürlichen Senken auf Österreichebene auszugehen ist, was daher auch für die Steiermark angenommen werden kann. Signifikante Anstrengungen könnten freilich die Senken zumindest auf aktuellem Niveau (2018-2020) erhalten, oder sie sogar erweitern, was die möglichen fossilen Emissionen erhöhen würde, ohne die Einhaltung des Treibhausgas-Budgets zu verletzen.

Tabelle 5 fasst die österreichweiten konsum- und produktionsbasierten THG-Budgets für 2021-2050 zusammen, wobei die erste Zeile die konsumbasierten THG-Budgets für verschiedene Wahrscheinlichkeiten zur Temperaturziel-Einhaltung angibt, und die zweite Zeile die dazugehörigen produktionsbasierten Budgets.

¹¹Diese Quantifizierung der nationalen historischen Emissionen beruht auf Anderl et al. (2020 und 2021) für die Jahre 2017-2019. Die angenommenen österreichweiten THG-Emissionen für das Jahr 2020 folgen der Schätzung von Umweltbundesamt (2021b), der zufolge der Covid-19 bedingte Rückgang der österreichischen THG-Emissionen gegenüber dem Jahr 2019 bei etwa 9% liegt.

¹² Diese Quantifizierung basiert auf der Anwendung der jährlichen CO₂-Anteile an den gesamten THG Emissionen (Anderl et al., 2020) auf die jährlichen THG-Emissionen.

Table 5 Für Österreich – aus global noch möglichen THG-Emissionen abgeleitete – noch zulässige Emissionen durch die Verbrennung fossiler Energieträger sowie durch industrielle Prozesse, die global mit einer Temperaturerhöhung von „deutlich unter 2°C, mit Erreichung des 1.5°C Ziels zum Ende des Jahrhunderts“ einhergehen, bei verschiedenen Wahrscheinlichkeiten für die Einhaltung des Temperaturgrenzwertes, differenziert nach Konsum- und produktionsbasiertem Verbrauch¹³.

THG-Budgets (und CO₂-Budgets) für Österreich 2021-2050		
	Wahrscheinlichkeit für die Einhaltung eines 1,5°C-Limits mit zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur von bis zu ~1,65°C	
	50% (1:1)	67% (2:1)
konsumbasiertes THG-Budget	675,4 MtCO ₂ eq	420,6 MtCO ₂ eq
produktionsbasiertes THG-Budget	439,3 MtCO ₂ eq (370,9 MtCO ₂)	273,7 MtCO ₂ eq (230,9 MtCO ₂)

Die rund 439 MtCO₂eq für 2021-2050 können als Maximalwert für das THG-Budget Österreichs gemäß der Pariser Verpflichtungen verstanden werden, wenn Emissionen produktionsbasiert erfasst werden: Wenn Österreich sein THG-Budget im Ausmaß von 439 MtCO₂eq (ab 2021) bis 2050 einhält, und gleichzeitig auch das dazugehörige globale Budget (1000 GtCO₂eq) eingehalten wird, dann wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% erreicht, dass die globale Temperatur nicht mehr als 1.5°C ansteigt, oder umgekehrt, auch bei Einhaltung dieses Budgets wird das Temperatur-Ziel mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% verfehlt. Die Einhaltung dieses selben Treibhausgas-Budgets sichert andere Temperaturlimits mit anderen Wahrscheinlichkeiten. Das Temperaturlimit einer Erwärmung von 2°C gegenüber vorindustriell wird bei Einhaltung dieses Treibhausgasbudgets zu 90% nicht überschritten.

4.2 Das Konsum- und produktionsbasierte Treibhausgas-Budget für die Steiermark im Kontext der Klima- und Energiestrategie

Im Sinne des equal-per-capita Ansatzes wird das österreichweite konsumbasierte THG-Budget für den Zeitraum 2021-2050 auf Basis des steiermärkischen Bevölkerungsanteils von 14% auf die Steiermark skaliert. Das ergibt ein konsumbasiertes THG-Budget für die Steiermark von 95 MtCO₂eq bei Einhaltung des Temperaturziels mit 50% Wahrscheinlichkeit bzw. von 59 MtCO₂eq bei Einhaltung des Temperaturziels mit 67% Wahrscheinlichkeit.

Das produktionsbasierte THG-Budget der Steiermark wird, wie in Kapitel 3 beschrieben, anhand der österreichischen sektoralen THG-Budgets abgeleitet. Der Vorgang zur Aufteilung des nationalen produktionsbasierten THG-Budgets auf die Wirtschaftssektoren des KSG ist in Tabelle 6 dargestellt. Neben den produktionsbasierten Emissionen und deren Anteilen in den KSG-Sektoren werden die durchschnittlichen sektoralen Kapitalnutzungsdauern ausgewiesen¹⁴. Diese sind, wie in Steining et al. (2020a) dargestellt, aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Studien und Datenbanken der EU

¹³ Ebenso können die produktionsbasierten THG-Budgets unter Heranziehen der derzeitigen (2018) Emissionsanteile in ETS und non-ETS Bereiche aufgeteilt werden. Für die konsumbasierte Betrachtung ist eine klare Trennung von ETS- und non-ETS Sektoren nicht vollziehbar, da die Nachfrage nach Gütern, die in ETS-Sektoren produziert werden, auch Emissionen in non-ETS Sektoren verursacht und umgekehrt (siehe Kapitel 1.7).

¹⁴ Für die Zuordnung aus Steining et al. (2020a) auf die KSG-Sektoren siehe Anhang Tabelle A.3.

abgeleitet und wurden den KSG-Sektoren zugeordnet¹⁵. Für die Ermittlung des erforderlichen sektoralen THG-Budgets wurde innerhalb jedes Sektors ein homogener Kapitalstock, und damit eine lineare Umstellung des auf fossilen Technologien basierenden Kapitalstocks unterstellt. Das sich daraus ergebende erforderliche produktionsbasierte THG-Budget Österreichs liegt mit 1007 MtCO₂eq über den abgeschätzten verfügbaren produktionsbasierten THG-Budgets für 2021-2050 aus Tabelle 5. Eine Übertragung der sektoralen Anteile am erforderlichen produktionsbasierten THG-Budget auf ein noch verfügbares österreichweites THG-Budget von 439 MtCO₂eq, welches mit der Einhaltung eines 1,5° Zieles unter einer 50% Einhaltungswahrscheinlichkeit kompatibel ist, wird in der äußerst rechten Spalte („Verfügbares sektorales THG-Budget 2021-2050“) in Tabelle 6 dargestellt.

Einen zentralen Ausgangspunkt für die dargestellten Berechnungen bilden die sektoralen Kapitalnutzungsdauern. Diese wurden unter der Annahme in die Analyse aufgenommen, dass klimaneutrale Technologien bereits in allen Sektoren zur Verfügung stehen. Weiters konnte aufgrund der Datenlage weder die tatsächliche Altersstruktur der sektoralen Kapitalstöcke, noch der Anteil bereits klimaneutral operierender Kapitalstöcke berücksichtigt werden. Um die Verlässlichkeit der Analyse zu gewährleisten und Implikationen der getroffenen Annahmen zu eruieren, kann unter Zugrundelegung weiterer technischer Analysen in Austauschprozessen in unabhängigen Expert:innenrunden und mit Interessensvertretungen ein evidenzbasierter Entscheidungsprozess gestaltet werden.

Tabelle 6 Aufteilung des österreichischen verfügbaren produktionsbasierten THG-Budgets anhand derzeitiger (2018) produktionsbasierter Emissionen und sektoralen Kapitalnutzungsdauern auf KSG Sektoren.

KSG Sektoren	Produktionsbasierte Emissionen 2018 [MtCO ₂ eq]	Anteil Emissionen 2018 [MtCO ₂ eq]	Durchschnittliche Kapitalnutzungsdauer [Jahre] ¹⁶	Erforderliches sektorales THG-Budget 2021-2050 [MtCO ₂ eq]	Anteil am erforderlichen THG-Budget	Verfügbares sektorales THG-Budget 2021-2050 [MtCO ₂ eq]
Energie	24,3	30,8%	28	343,3	34,1%	149,7
Industrie	23,9	30,3%	22	262,9	26,1%	114,6
Verkehr	10,0	12,6%	34	169,8	16,9%	74,0
Gebäude	8,2	10,3%	23	93,9	9,3%	40,9
Landwirtschaft	7,9	10,0%	19	75,5	7,5%	32,9
Abfallwirtschaft	2,5	3,2%	24	29,9	3,0%	13,0
F-Gase	2,3	2,9%	28	32,1	3,2%	14,0
Gesamt	79,0			1007,4		439,3

Für die Steiermark ergibt sich mit selbiger Vorgehensweise und Berücksichtigung sektoraler Kapitalnutzungsdauern ein erforderliches produktionsbasiertes THG-Budget von 178 MtCO₂eq (siehe Tabelle 7). Das verfügbare produktionsbasierte THG-Budget für die Steiermark ist anhand der sektoralen steirischen Anteile an den österreichweiten Emissionen in 2018 und den österreichweiten

¹⁵ Eine produktionsbasierte Emissionszurechnung zu detaillierter aufgegliederter Wirtschaftssektoren (wie sie derzeit jedoch nicht verfügbar ist) könnte hier weitere wertvolle Aufschlüsse geben und wäre vor allem im Industriebereich sinnvoll, da sich Sektoren dieses Bereichs sowohl im Emissionsniveau als auch in der Kapitalnutzungsdauer stark unterscheiden.

¹⁶ basierend auf Steininger et al. (2020a).

verfügbaren sektoralen THG-Budgets hergeleitet und beträgt 78 MtCO₂eq für eine 50% Einhaltungswahrscheinlichkeit. Ebenso wie für Österreich ist auch für die Steiermark das verfügbare produktionsbasierte THG-Budget um rund 57% kleiner als das theoretisch notwendige THG-Budget (letzteres beschreibt die Emissionen, wenn alle Kapitalstöcke erst am Ende ihrer Nutzungsdauer jeweils durch solche ersetzt werden, die auf klimaneutralen Technologien beruhen).

Tabelle 7 Aufteilung des verfügbaren produktionsbasierten THG-Budgets für die Steiermark anhand derzeitiger (2018) produktionsbasierter Emissionen, sektoraler Kapitalnutzungsdauern und Anteilen an österreichweiten Emissionen in den KSG Sektoren.

KSG Sektoren	Produktionsbasierte Emissionen 2018 [MtCO ₂ eq]	Durchschnittliche Kapitalnutzungsdauer [Jahre] ¹⁷	Erforderliches sektorales THG-Budget 2021-2050 [MtCO ₂ eq]	Anteil an österreichweiten Emissionen 2018 [Mt CO ₂ eq]	Verfügbares sektorales THG-Budget 2021-2050 [MtCO ₂ eq]
Energie	5,6	28	79,3	23,1%	34,6
Industrie	3,7	22	40,2	15,3%	17,5
Verkehr	1,5	34	25,4	14,9%	11,1
Gebäude	1,4	23	16,1	17,1%	7,0
Landwirtschaft	1,0	19	9,5	12,6%	4,1
Abfallwirtschaft	0,3	24	3,8	12,8%	1,7
F-Gase	0,3	28	3,9	12,2%	1,7
Gesamt	13,7		178,2	17,4%	77,7

Tabelle 8 fasst die THG-Budgets für die Steiermark für 2021-2050 zusammen, wobei die erste Zeile die konsumbasierten THG-Budgets für verschiedene Wahrscheinlichkeiten zur Temperaturziel-Einhaltung angibt, und die zweite Zeile die dazugehörigen produktionsbasierten Budgets. Die diesen entsprechenden produktionsbasierten CO₂-Budgets basieren auf dem steirischen CO₂-Anteil an den gesamten steirischen THG-Emissionen (85%, Anderl et al., 2020) und sind in Klammer unter den THG-Budgets angeführt.

Tabelle 8 Für die Steiermark – aus global noch möglichen THG-Emissionen abgeleitete – noch zulässige Emissionen durch die Verbrennung fossiler Energieträger sowie durch industrielle Prozesse, die global mit einer Temperaturerhöhung von „deutlich unter 2°C, mit Erreichung des 1.5°C Ziels zum Ende des Jahrhunderts“ einhergehen, bei verschiedenen Wahrscheinlichkeiten für die Einhaltung des Temperaturgrenzwertes, differenziert nach Konsum- und produktionsbasiertem Verbrauch.

THG-Budgets (und CO₂-Budgets) für die Steiermark 2021-2050		
Wahrscheinlichkeit für die Einhaltung eines 1,5°C-Limits mit zwischenzeitlich geringfügig höherer Temperatur von bis zu ~1,65°C		
	50% (1:1)	67% (2:1)
konsumbasiertes THG-Budget	94,5 MtCO ₂ eq	58,8 MtCO ₂ eq
produktionsbasiertes THG-Budget	77,7 MtCO ₂ eq (66,1 MtCO ₂)	48,4 MtCO ₂ eq (40,8 MtCO ₂)

¹⁷ basierend auf Steininger et al. (2020a).

Analog zu Tabelle 5 im Kontext Österreichs, können die 78 MtCO₂eq für 2021-2050 in Tabelle 8 als Maximalwert für das THG-Budget der Steiermark gemäß der Pariser Verpflichtungen verstanden werden, welche sich auf produktionsbasierte Emissionsreduktionen beziehen. Wenn die Steiermark ihr THG-Budget im Ausmaß von 78 MtCO₂eq (ab 2021) bis 2050 einhält, und gleichzeitig auch das dazugehörige nationale Budget (439 MtCO₂eq) und das globale Budget (1000 GtCO₂eq) eingehalten werden, dann wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% die globale Temperatur nicht mehr als 1.5°C ansteigen. Umgekehrt bedeutet dies allerdings auch, dass auch bei Einhaltung dieses Budgets das Temperatur-Ziel mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% verfehlt wird. Das Temperaturlimit einer Erwärmung von 2°C gegenüber vorindustriell wird bei Einhaltung dieses Treibhausgasbudgets aber zu 90% nicht überschritten.

Um die Stringenz der abgeleiteten THG-Budgets zu veranschaulichen, werden im Folgenden notwendige Emissionsreduktionspfade für die Einhaltung produktionsbasierter THG-Budgets den auf die Steiermark heruntergebrochenen EU-Emissionszielen gegenübergestellt. Abbildung 3 zeigt einen linearen Reduktionspfad produktionsbasierter Emissionen für ein THG-Budget von 78 MtCO₂eq (50% Wahrscheinlichkeit) und 48 MtCO₂eq (67% Wahrscheinlichkeit). Mit dieser linearen Annahme ergibt sich eine jährliche Reduktionsrate von 7,0% bzw. 10,8% der produktionsbasierten Emissionen für die Einhaltung eines THG-Budgets von 78 bzw. 48 MtCO₂eq und entsprechend netto-null Emissionen bis 2029 bzw. 2034. Weiters wurden die EU-Ziele für 2030 für den ETS Bereich mit 4,2% jährlicher linearer Reduktionsrate im Vergleich zu 2020 (European Commission, 2021, S. 44) und einer Reduktion von 48% bis 2030 im Vergleich zu 2005 für den non-ETS Bereich in Österreich (Umweltbundesamt, 2021a, S. 44) für die Steiermark übersetzt und in Abbildung 3 zum Vergleich dargestellt¹⁸. Dabei zeigt sich, dass die Einhaltung der hier ermittelten THG-Budgets einer weitaus stärkeren Emissionsreduktion bedarf als es die EU-Ziele vorgeben¹⁹.

¹⁸ Dabei wurde angenommen, dass Emissionen im ETS Bereich in der Steiermark genau der durchschnittlichen Emissionsreduktion des Europäischen ETS entsprechen und die jährlichen Emissionseinsparungen genau der Zertifikatsreduktion entsprechen. Für den non-ETS Bereich wird eine lineare Reduktion der durchschnittlichen Emissionen von 2016-2018 hin zum -48% Zielwert in 2030 angenommen.

¹⁹ Dieses Ergebnis für die Steiermark steht im Einklang mit anderen Publikationen, die für die aggregierte Ebene der EU zeigen, dass die derzeitigen EU-Emissionsreduktionsziele nicht ausreichend sind, um mit einem fairen Anteil das globale THG-Budget zur Nichtüberschreitung des Pariser Temperaturziels einzuhalten (Steininger et al., 2020b und Climate Action Tracker, 2021).

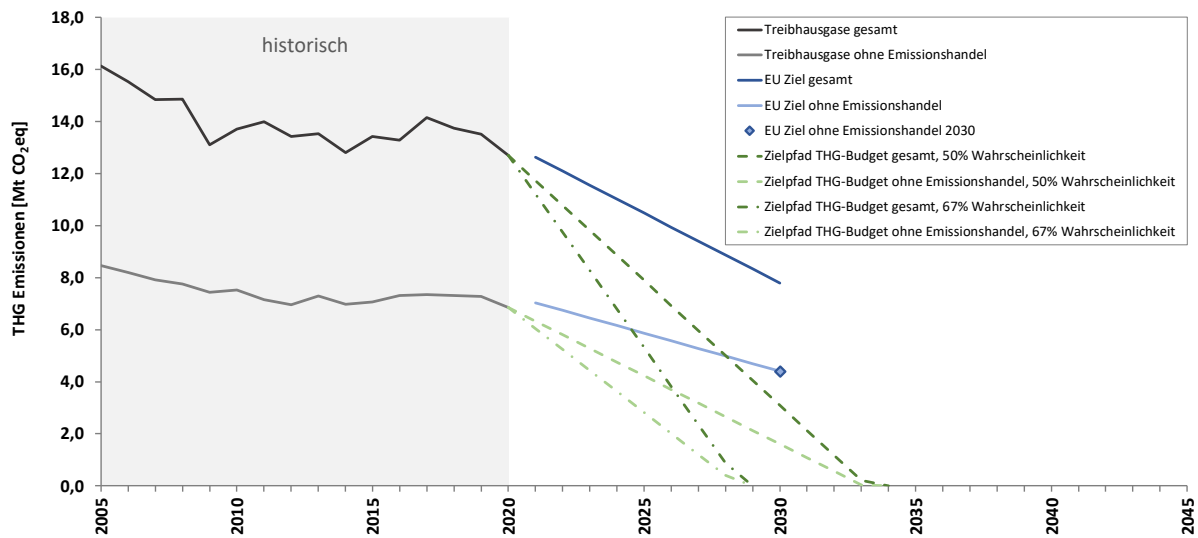


Abbildung 3 Produktionsbasierte historische Emissionen und für die Steiermark abgeleitete Emissionsziele anhand von EU-Vorgaben sowie lineare Reduktionspfade zur Einhaltung eines THG-Budgets von 78, bzw. 48 MtCO₂eq, jeweils mit und ohne Emissionshandel (EH).

Je nach politischen Vorgaben zur zeitlichen Erreichung von netto-null Emissionen (2050 für die Steiermark laut Klima- und Energiestrategie 2017), muss dasselbe Budget für einen längeren oder kürzeren Zeitraum ausreichen. Dabei zeigt sich, dass allerdings nicht die politische Zielerreichungsvorgabe des Zeitpunkts (z.B. 2040 vs. 2050), sondern das THG-Budget selbst in der Regel die wesentlich limitierendere Bestimmung darstellt. Um bis zur Mitte des Jahrhunderts Klimaneutralität zu erreichen, ist deshalb die Ergänzung des Zielzeitpunkts um konkrete Zwischenziele zur Emissionsreduktion sowie um konkrete Maßnahmen zur Erreichung dieser maßgeblich.

Wenn das Land Steiermark seiner Verantwortung in einer Transition zu einer klimaneutralen globalen Gesellschaft nachkommen möchte, gilt es sowohl das produktionsbasierte als auch das konsumbasierte THG-Budget einzuhalten, welche in dieser Studie ermittelt wurden. Da die gezeigten erforderlichen produktionsbasierten THG-Budgets beträchtlich über den ermittelten verfügbaren Budgets liegen, ist hier eine Transition in Angriff zu nehmen, die schneller stattfinden muss als ein gradueller Übergang. Auf fossilen Technologien basierende Kapitalstöcke müssen somit vor dem Ende ihrer Lebensdauer, und bevor diese wirtschaftlich abgeschrieben sind, durch klimaneutrale Technologien ersetzt werden. Ein verantwortungsvolles Handeln der Steiermark erfordert gleichermaßen, ihr konsumbasiertes THG-Budget nicht zu überschreiten. Durch die Auslagerung emissionsintensiver Produktion in andere (Bundes-)Länder wäre es ansonsten möglich, die produktionsbasierten Emissionen zu senken, während aufgrund von Importen in die Steiermark die konsumbasierten Emissionen nicht reduziert werden und das entsprechende steirische THG-Budget überschritten wird.

5. Pfade, Maßnahmen und Monitoring zur Einhaltung des Treibhausgas-Budgets der Steiermark

Bereits auf Basis der produktionsbasierten Emissionsbetrachtung in Kapitel 2 ist klar, dass es eine Umstellung zu klimaneutralen Prozessen bei der Energieerzeugung, in der Industrie, im Verkehr, in der Landwirtschaft und beim Heizen braucht. Anhand der sektoralen Aufteilung des produktionsbasierten THG-Budgets zeigt sich zudem, dass die Bereiche Verkehr und Gebäudebetrieb, bei einem die volkswirtschaftlichen Kosten minimierenden Vorgehen, ein geringeres THG-Budget zugewiesen bekommen, als es ihrem heutigen Emissionsanteil entspricht und eine Transition hier somit schneller als im Durchschnitt der Wirtschaft stattfinden kann (und – wenn diesem volkswirtschaftlichen Kostenargument Rechnung getragen werden soll – auch muss). Diese Betrachtung erfolgt unter der Voraussetzung, dass neu installierte Anlagen z.B. in der Energieerzeugung ab sofort ausschließlich auf klimaneutralen Technologien beruhen. Im THG-Budget für den Bereich der Industrie und Energieerzeugung ist umgekehrt berücksichtigt, dass aufgrund der längeren Kapitalnutzungsdauern eine vollständige Umstellung auf klimaneutrale Produktionsweisen weniger rasch möglich, bzw. kostenintensiver ist.

In Abbildung 4 sind sektorale Reduktionspfade der KSG-Sektoren für die Steiermark dargestellt, für die eine konstante jährliche Reduktion hinterlegt ist, und die die Einhaltung eines produktionsbasierten THG-Budgets von 78 MtCO₂eq erfüllen. Mit einer linearen Verringerung wäre hier eine jährliche – über die Sektoren durchschnittliche – Reduktionsrate der Gesamtemissionen von 7,0% der derzeitigen (2018) Emissionen notwendig²⁰. Unter den Sektoren variieren diese Reduktionsraten jedoch zwischen 5,4% (Energie) und 9,2% (Gebäude). Weiters ergeben sich unterschiedliche Zeitpunkte, zu denen eine klimaneutrale Transition umgesetzt wäre. Diese liegen aufgrund des verfügbaren THG-Budgets und der linearen Reduktionsrate noch vor 2040.

Betrachtet man demgegenüber die Einhaltung des konsumbasierten THG-Budgets von 95 MtCO₂eq und nimmt wiederum eine konstante jährliche Reduktion der nunmehr konsumbasierten Emissionen an, so liegt die notwendige Reduktionsrate bei 7,6% der derzeitigen (2018) konsumbasierten Emissionen. Aus konsumbasierter Sicht muss die Umstellung zur Klimaneutralität somit noch schneller stattfinden.

²⁰ Ein niedrigeres produktionsbasiertes THG-Budget von 48 MtCO₂eq würde eine höhere notwendige Reduktionsrate von jährlich 10,8% bedeuten.

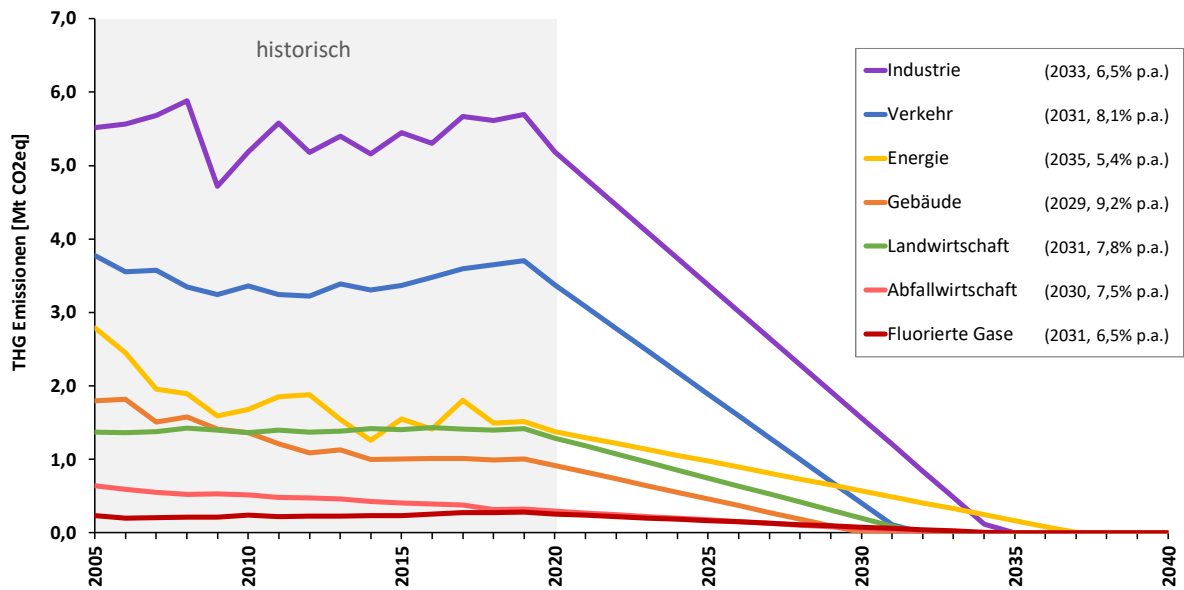


Abbildung 4 Produktionsbasierte historische Emissionen und lineare Reduktionspfade zur Einhaltung eines THG-Budgets von 78,0 MtCO₂eq sowie der jeweiligen sektoralen THG-Budgets.

Die Einhaltung des produktions- und konsumbasierten THG-Budgets erfordert jeweils sowohl produktions- als auch nachfrageseitige Maßnahmen. Dies bedeutet, dass produktionsseitige Maßnahmen nicht nur die produktionsbasierten Emissionen, sondern auch die konsumbasierten Emissionen adressieren. Für die Steiermark gilt zum Beispiel, dass rund ein Drittel ihrer konsumbasierten Emissionen innerhalb Österreichs emittiert werden, ein Viertel innerhalb der EU und rund 41% außerhalb der EU (siehe Kapitel 2.2). Verbindliche nationale und EU-weite Reduktionsziele, welche die produktionsbasierten Emissionen betreffen, haben somit auch Einfluss auf mehr als die Hälfte der derzeitigen steirischen konsumbasierten Emissionen. Um die verbleibenden 41% der konsumbasierten Emissionen zu adressieren, bedarf es nachfrageseitiger Maßnahmen wie zum Beispiel Informationskampagnen zu vorgelagerten Emissionen in bestimmten Produkten sowie zu attraktiven Alternativen, Förderungsprogramme bzw. deren Ausbau wie z.B. die Reparaturförderung der Stadt Graz, oder die Festlegung verbindlicher Kriterien zur Klimaneutralität in öffentlichen Vergabeprozessen, um einerseits als Vorbild für die Industrie zu dienen und andererseits dadurch auch praktische Evaluationstools zur Klimaneutralität für die gesamte Wirtschaft verfügbar werden zu lassen („Lead-by-example“). Eine öffentliche Festlegung konsumbasierter THG-Budgets von mehreren Regionen bzw. Staaten würde zudem eine starke Signalwirkung hervorrufen, die die erwartete Nachfrage nach emissionsarmen Produkten ansteigen lässt. Damit wächst auch für Anbieter weltweit der Anreiz, ihre Produktionstechnologien umzustellen und ihre Vorprodukte gegen emissionsarme auszutauschen. In Bezug auf die Einhaltung eines konsumbasierten THG-Budgets ist jedoch zu beachten, dass eine ausreichend veränderte private Konsum- und Investitionsnachfrage gleichzeitig auch Maßnahmen auf EU-Ebene zum Ausgleich aufkommender Mehrkosten bedarf, wie z.B. die Umsetzung eines adäquaten CO₂-Grenzausgleichssystems.

Ausgangspunkt für die Ausarbeitung solcher umfassenden Maßnahmen bietet die vorliegende Emissionsanalyse. Die konkreten Maßnahmen, die das Land Steiermark treffen kann, gilt es jedoch eigens in einem evidenzbasierten Entscheidungsprozess mit Stakeholdern zu erarbeiten. Für das entsprechende, regelmäßige und unabhängige Monitoring solcher Maßnahmen können das

erarbeitete konsumbasierte und produktionsbasierte THG-Budget und davon abgeleitete Reduktionspfade ein nützliches Tool bieten.

Um die Wirksamkeit zu überprüfen und auch ein Nachschärfen der Maßnahmen entsprechend zu ermöglichen wäre eine verbesserte Datenlage in mehreren Aspekten die Voraussetzung. Dies betrifft die produktionsbasierten Emissionsdaten der Steiermark, die derzeit nur für die grobe Struktur der KSG-Sektoren verfügbar sind. Eine detailliertere Aufgliederung nach Wirtschaftssektoren könnte hier weitere sinnvolle Aufschlüsse ermöglichen. Für eine konsumbasierte Emissionsberechnung sind zudem Nachfragedaten der privaten Haushalte, der öffentlichen Haushalte sowie für Investitionen in Unternehmen notwendig.

Die Daten der privaten Haushaltsnachfrage der hier gezeigten Berechnungen stammen aus der Konsumerhebung der Statistik Austria, die derzeit in einem Abstand von fünf Jahren durchgeführt wird. Um die Wirksamkeit gesetzter Maßnahmen und die Pfadeinhaltung eines THG-Budgets überprüfen zu können, bedürfte es hier wesentlich kürzerer Erhebungsabstände von ein bis zwei Jahren. Die öffentliche Haushaltsnachfrage und die Investitionsnachfrage der steirischen Unternehmen werden in der vorliegenden Analyse anhand eines Bevölkerungsschlüssels bzw. dem steirischen Anteil der gesamten österreichischen Wirtschaftsleistung auf die Steiermark heruntergerechnet. Für ein aussagekräftigeres Monitoring wären hier einerseits eine laufende Analyse des öffentlichen Haushalts (siehe Institutional Carbon Management; Kirchengast et al., 2021) sowie eine empirische Datengrundlage der steirischen Unternehmensinvestitionen notwendig.

Literatur

- Anderl, M., Friedrich, A., Gangl, M., Haider, S., Köther, T., Kriech, M., Kuschel, V., Lampert, C., Mandl, N., Matthews, B., Pazdernik, K., Pinterits, M., Poupa, S., Purzner, M., Schieder, W., Schmid, C., Schmidt, G., Schodl, B., Schwaiger, E., ... Zechmeister, A. (2021). *Austria's National Inventory Report 2021* (REP-0761). Umweltbundesamt. Abgerufen 20. August 2021, von <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0761.pdf>
- Anderl, M., Gangl, M., Lampert, C., Pazdernik, K., Poupa, S., Schieder, W., Schodl, B., Titz, M., Wieser, M., & Zechmeister, A. (2020). *Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990-2018* (REP-0746). Umweltbundesamt. Abgerufen 20. August 2021, von <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0746.pdf>
- Climate Action Tracker. (2021). Abgerufen 14. Jänner 2021, von <https://climateactiontracker.org/>
- European Commission. (2021). *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union, Decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and Regulation (EU) 2015/757*. COM(2021) 551 final. 2021/0211 (COD). Brussels, 14.07.2021.
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M., Andrew, R., Hauck, J., Olsen, A., Peters, G., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Canadell, J., Ciais, P., & Jackson, R. (2020). *Global Carbon Budget 2020*. Abgerufen 20. August 2021, von https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/20/files/GCP_CarbonBudget_2020.pdf.
- IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- 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* [Masson-Delmotte, V., 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, and T. Waterfield (eds.)].
- Kirchengast, G., Danzer, J., Hölbling, S. (2021). *Carbon Management: a new approach to achieve Paris-compliant climate goals and Uni Graz Institutional Carbon Management as a role model*. Wegener Center Research Brief 1/2021. Wegener Center Verlag, Graz.
- Köppl, A., Schleicher, S., Mühlberger, M., & Steininger, K. W. (2020). *Klimabudget Wien. Klimaindikatoren im Rahmen eines Klimabudgets*. Abgerufen 20. August 2021, von https://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=66396&mime_type=application/pdf
- Land Steiermark. (2021). *Klimabericht 2020, Zahlen, Daten und Fakten zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen und des Klimastatus in der Steiermark*. Abgerufen 06. Oktober 2021, von

- https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/12449173_128523298/c2f89303/2021-07-19%20KB2020%20Seiten.pdf
- Meyer, L., & Steininger, K. W. (2017). *Das Treibhausgas-Budget für Österreich* (Wissenschaftlicher Bericht Nr. 72–2017). Wegener Center Verlag. Abgerufen 20. August 2021, von <https://wegcwww.uni-graz.at/publ/wegcreports/2017/WCV-WissBer-Nr72-LMeyerKSteininger-Okt2017.pdf>
- Muñoz, P., & Steininger, K. W. (2010). Austria's CO₂ responsibility and the carbon content of its international trade. *Ecological Economics*, 69(10), 2003–2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.017>
- Pichler, C., & Steininger, K. W. (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* (Wissenschaftlicher Bericht Nr. 84–2019). Wegener Center Verlag. Abgerufen 20. August 2021, von <https://wegcwww.uni-graz.at/publ/wegcreports/2019/WCV-WissBer-Nr84-CPichlerKSteininger-Nov2019.pdf>
- Ref-NEKP. (2019). *Referenz-Nationaler Energie- und Klimaplan—Climate Change Centre Austria*. Abgerufen 20. August 2021, von <https://ccca.ac.at/wissenstransfer/uninetz-sdg-13/referenz-nationaler-klima-und-energieplan-ref-nekp>
- Rogelj, J., Forster, P. M., Kriegler, E., Smith, C. J., & Séférian, R. (2019). Estimating and tracking the remaining carbon budget for stringent climate targets. *Nature*, 571(7765), 335–342. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1368-z>
- Statistik Austria. (2021a). *Konsumerhebung 2019/20*. Abgerufen 20. August 2021, von https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/soziales/verbrauchs-ausgaben/konsumerhebung_2019_2020/index.html
- Statistik Austria. (2021b). *Jahresdurchschnittsbevölkerung 1952-2020 nach Bundesland*. Abgerufen 10. Jänner 2022, von https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/bevoelkerungsstand_und_veraenderung/bevoelkerung_im_jahresdurchschnitt/index.html
- Statistik Austria. (2021c). *Regionale Gesamtrechnungen. Bruttoregionalprodukt, absolut und je Einwohner nach Bundesländern, laufende Preise*. Abgerufen 27. August 2021, von http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/volkswirtschaftliche_gesamtrechnungen/regionale_gesamtrechnungen/nuts2-regionales_bip_und_hauptaggregate/019118.html
- Steininger, K. W., Meyer, L., & Nabernegg, S. (2020a). Sectoral carbon budgets as an evaluation framework for the built environment. *Buildings and Cities*, 1(1), 337–360.
- Steininger, K.W., Meyer, L. H., Schleicher, S., Riahi, K., Williges, K., Maczek, F. (2020b). *Effort Sharing among EU Member States: Green Deal Emission Reduction Targets for 2030*. Wegener Center Research Briefs 2-2020, Wegener Center Verlag, University of Graz, Austria, Oktober 2020. <https://doi.org/10.25364/23.2020.2>
- Steininger, K. W., Muñoz, P., Karstensen, J., Peters, G. P., Strohmaier, R., & Velázquez, E. (2018). Austria's consumption-based greenhouse gas emissions: Identifying sectoral sources and destinations. *Global Environmental Change*, 48, 226–242. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.011>

- Umweltbundesamt. (2021a). *Klimaschutzbericht 2021*. REP-0776. ISBN 978-3-99004-599-2. Wien. Abgerufen 17. November 2021, von <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0776.pdf>
- Umweltbundesamt: Treibhausgas-Bilanz Österreichs 2019. (2021b). OTS.at. Abgerufen 17. August 2021, von https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20210119_OTS0020/umweltbundesamt-treibhausgas-bilanz-oesterreichs-2019
- UNFCCC. (2015). *Adoption of the Paris Agreement. Decision FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1*. United Nations Framework Convention on Climate Change. Abgerufen 20. August 2021, von <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population and Division. (2019). *World Population Prospects 2019*, custom data acquired via website. Abgerufen 16. August 2021, von <https://population.un.org/wpp/DataQuery/>
- von Weizsäcker, E. U., & Wijkman, A. (2018). *Come on! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet (1st ed.)*. Springer. ISBN 978-1493974184
- Warszawski, L., Kriegler, E., Lenton, T. M., Gaffney, O., Jacob, D., Klingefeld, D., Koide, R., Costa, M. M., Messner, D., Nakicenovic, N., Schellnhuber, H. J., Schlosser, P., Takeuchi, K., Van Der Leeuw, S., Whiteman, G., & Rockström, J. (2021). All options, not silver bullets, needed to limit global warming to 1.5 °C: A scenario appraisal. *Environmental Research Letters*, 16(2021), 064037. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfeec>
- Williges, K., Meyer, L., Steininger, K. W., & Kirchengast, G. (2022). Fairness critically conditions the carbon budget allocation across countries. *Global Environmental Change*. Forthcoming (accepted January 2022).
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU). (2019). *Unsere gemeinsame digitale Zukunft*. Abgerufen 20. August 2021, von <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/unsere-gemeinsame-digitale-zukunft>
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (Hrsg.). (2009). *Kassensturz für den Weltklimavertrag - der Budgetansatz: Sondergutachten*. Wiss. Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen.

Anhang

Tabelle A.1: Anteile der privaten steirischen Haushaltsnachfrage an der gesamten österreichischen Haushaltsnachfrage, basierend auf Konsumerhebung 2019/20 (Statistik Austria, 2021a).

	Anteil der privaten steirischen Haushaltsnachfrage an gesamt Österreich
Land-und forstwirtschaftliche Erzeugnisse	15%
Güter aus dem Bergbau	17%
Nahrungsmittel und Getränke	14%
Textilien	14%
Holzwaren	15%
Papier	15%
Güter aus Mineralölverarbeitung	14%
Chemische Erzeugnisse	14%
Mineralische Erzeugnisse	14%
Güter aus Metallerzeugung	15%
Elektrische und elektronische Erzeugnisse	12%
Erzeugnisse aus dem Maschinenbau	14%
Erzeugnisse aus dem Fahrzeugbau	14%
Sonstige Waren	14%
Energieversorgung privater Haushalte	16%
Gebäude- und Bauarbeiten	18%
Produkte im Handel	14%
Öffentlicher Verkehr	11%
Private Dienstleistungen	13%
Öffentliche Dienstleistungen	12%
Kleinfeuerungsanlagen privater Haushalte	16%
MIV privater Haushalte	14%

Tabelle A.2: Bevölkerungsanteil und Anteil der Wirtschaftsleistung der Steiermark an gesamt Österreich.

	Österreich	Steiermark	Anteil Steiermark	Quelle
Bevölkerung (2018) [Personen]	8753667	1242635	14,2%	Statistik Austria (2021b)
Bruttoregionalprodukt (2018) [Mio €]	385362	48847	12,7%	Statistik Austria (2021c)

Table A.3: Zuordnung sektoraler Kapitalnutzungsdauern zu produktionsbasierten KSG-Sektoren, basierend auf Angaben in Steininger et al. (2020a) und anhand sektoraler österreichweiter produktionsbasierter Emissionen 2014.

Sektor	Representative Nutzungsdauer des Kapitalstocks [Jahre] (Steininger et al., 2020a)	Produktionsbasierte Emissionen 2014 [Mt CO ₂ eq]	KSG-Sektor Zuordnung						
			Industrie	Verkehr	Energie	Landwirtschaft	Gebäude	Abfallwirtschaft	F-Gase
Agriculture	23	9,0				x			
Extraction, Coal, Oil, Gas	27	1,2							
Food products	14	0,2	x						x
Textiles	15	0,0	x						x
Wood products	13	0,0	x						x
Paper products, publishing	28	0,4	x						x
Petroleum, coal products	29	1,1							
Chemical, rubber, plastic products	36	1,5	x						x
Mineral products	40	3,8	x						x
Ferrous metals	31	13,8	x						x
Metals nec	31	0,0	x						x
Motor vehicles and parts	11	0,0	x						x
Machinery and equipment	11	0,1	x						x
Electronic equipment	10	4,3	x						x
Electricity	34	8,8			x				
Construction	19	1,0	x						x
Trade	13	0,9					x		
Services	12	2,1					x		
Government services	24	3,2					x	x	
Public transport	26	10,9		x					
Private household: Heating and hot water	20	6,6					x		
Private household: Transport	16	7,2		x					

Tabelle A.3: Zuordnung sektoraler Kapitalnutzungsdauern zu **konsumbasierten** Sektoren der Endnachfrage, basierend auf Angaben in Steininger et al. (2020a).

Sektor	Repräsentative Nutzungsdauer des Kapitalstocks [Jahre] (Steininger et al., 2020a)	Zuordnung zu Sektoren der Endnachfrage																						
		Private Dienstleistungen	Gebäude- und Bauarbeiten	Öffentliche Dienstleistungen	Nahrungsmittel und Getränke	MIV privater Haushalte	Kleinfeuerungsanlagen privater Haushalte	Öffentlicher Verkehr	Energieversorgung privater Haushalte	Elektrische und elektronische Erzeugnisse	Erzeugnisse aus dem Fahrzeugbau	Produkte im Handel	Erzeugnisse aus dem Maschinenbau	Textilien	Güter aus Mineralölverarbeitung	Chemische Erzeugnisse	Sonstige Waren	Land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse	Güter aus Metallerzeugung	Mineralische Erzeugnisse	Papier	Holzwaren	Güter aus dem Bergbau	
Agriculture	26																X							
Extraction, Coal, Oil, Gas	29																						X	
Food products	26				X																			
Textiles	30												X											
Wood products	29																					X		
Paper products, publishing	30																				X			
Petroleum, coal products	29													X										
Chemical, rubber, plastic products	33														X									
Mineral products	37																			X				
Ferrous metals	31																		X					
Metals nec	31																		X					
Motor vehicles and parts	30									X														
Machinery and equipment	31											X												
Electronic equipment	27								X															
Electricity	34							X																
Construction	31		X																					
Trade	28										X													
Services	29	X																						
Government services	30			X																				
Public transport	28								X															
Private household: Heating and hot water	20									X														
Private household: Transport	16					X																		