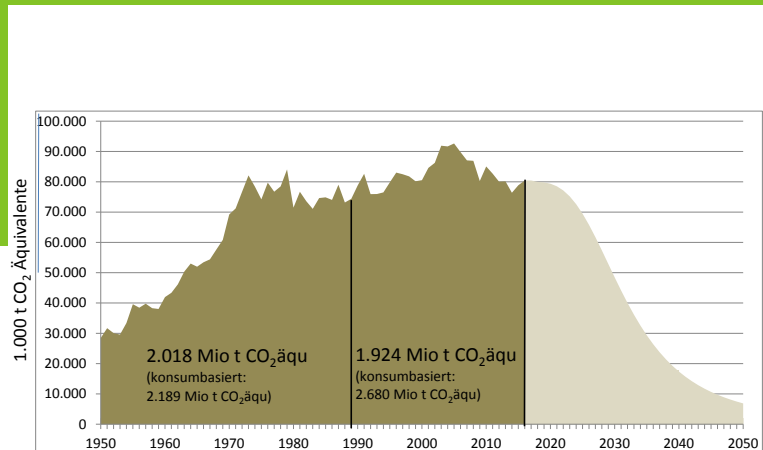




Wissenschaftlicher Bericht Nr. 72-2017

Das Treibhausgas-Budget für Österreich

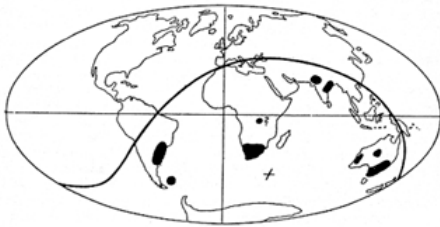
Lukas Meyer, Karl Steininger

Oktober 2017



Das **Wegener Center für Klima und Globalen Wandel** vereint als interdisziplinäres und international orientiertes Forschungsinstitut die Kompetenzen der Karl-Franzens-Universität Graz im Forschungsbereich "Klimawandel, Umweltwandel und Globaler Wandel". Forschungsgruppen und ForscherInnen aus Bereichen wie Geo- und Klimaphysik, Meteorologie, Volkswirtschaftslehre, Geographie und Regionalforschung arbeiten in unmittelbarer Campus-Nähe unter einem Dach zusammen. Gleichzeitig werden mit vielen KooperationspartnerInnen am Standort, in Österreich und international enge Verbindungen gepflegt. Das Forschungsinteresse erstreckt sich dabei von der Beobachtung, Analyse, Modellierung und Vorhersage des Klima- und Umweltwandels über die Klimafolgenforschung bis hin zur Analyse der Rolle des Menschen als Mitverursacher, Mitbetroffener und Mitgestalter dieses Wandels. (mehr Informationen unter www.wegcenter.at)

Die Forschungsarbeit zu diesem Report wurde unterstützt von der Initiative MUTTER ERDE (muttererde.at). MUTTER ERDE ist ein Zusammenschluss des ORF und der führenden Umwelt- und Naturschutzorganisationen Österreichs. Ziel der Initiative ist, Bewusstsein für die Umwelt zu schaffen, Menschen zum Handeln zu bewegen und Umwelt- und Naturschutzprojekte zu unterstützen. Klimaschutz ist nach Lebensmittelverschwendung (2016), Bienen (2015) und Wasser (2014) der vierte gemeinsame Themenschwerpunkt.



Alfred Wegener (1880–1930), Namensgeber des Wegener Center und Gründungsinhaber des Geophysik-Lehrstuhls der Universität Graz (1924–1930), war bei seinen Arbeiten zur Geophysik, Meteorologie und Klimatologie ein brillanter, interdisziplinär denkender und arbeitender Wissenschaftler, seiner Zeit weit voraus. Die Art seiner bahnbrechenden Forschungen zur Kontinentaldrift ist großes Vorbild—seine Skizze zu Zusammenhängen der Kontinente aus Spuren einer Eiszeit vor etwa 300 Millionen Jahren als Logo-Vorbild ist daher steter Ansporn für ebenso mutige wissenschaftliche Wege: Wege entstehen, indem wir sie gehen (Leitwort des Wegener Center).

Wegener Center Verlag • Graz, Austria

© 2017 Alle Rechte vorbehalten.

Auszugsweise Verwendung einzelner Bilder, Tabellen oder Textteile bei klarer und korrekter Zitierung dieses Berichts als Quelle für nicht-kommerzielle Zwecke gestattet. Verlagskontakt bei allen weitergehenden Interessen: wegcenter@uni-graz.at.

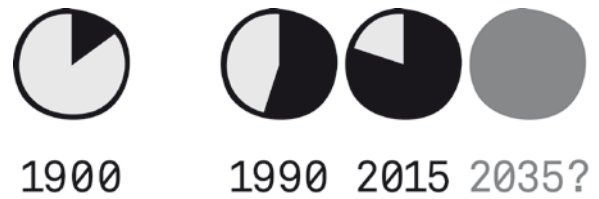
ISBN 978-3-9503918-8-6

Oktober 2017

*Kontakt: Lukas Meyer, lukas.meyer@uni-graz.at
Karl Steininger, karl.steininger@uni-graz.at*

Wegener Center für Klima und Globalen Wandel
Karl-Franzens-Universität Graz
Brandhofgasse 5
8010 Graz, Austria
www.wegcenter.at

DAS TREIBHAUSGAS-BUDGET FÜR ÖSTERREICH



Lukas Meyer, Karl W. Steininger

Oktober 2017

Die Autoren danken Bernd Gugele für die Kooperation und Emissions-Daten-Aufbereitung.

Wegener Center Wissenschaftlicher Bericht 72-2017

ISBN: 978-3-9503918-8-6

Die Grafik am Innendeckblatt stellt auf Basis des gesamten österreichischen Treibhausgasbudgets seit 1800 den Verbrauch desselben in Anteilen bis zum jeweilig angegeben Jahr dar. Bei Fortsetzung der aktuellen Emissionsniveaus (zuletzt verlautbart für das Bezugsjahr 2015) wäre das noch verfügbare Budget bereits 2035 ausgeschöpft.

INHALT

DAS TREIBHAUSGAS-BUDGET FÜR ÖSTERREICH	1
INHALT	3
KURZFASSUNG.....	5
1 EINLEITUNG	7
2 TREIBHAUSGASBUDGET	8
2.1 Das globale Kohlenstoffbudget	8
2.2 Die Berechnung nationaler Kohlenstoff bzw. Treibhausgasbudgets	9
2.2.1 Ansatz Verringerung und Konvergenz („Contraction and convergence“)	10
2.2.2 Ansatz gleiche Verteilung pro-Kopf	11
2.3 Österreichs Treibhausgas-Budget ab 2017	13
2.3.1 Berechnung auf Basis des Ansatzes „Verringerung und Konvergenz“	14
2.3.2 Berechnung auf Basis einer gleichgewichteten Bevölkerungszuteilung	15
2.3.3 Synthese	17
3 EMISSIONEN IM VERGLEICH	19
3.1 Wie sehen die historischen Emissionen im Vergleich zum verbleibenden THG-Budget aus?	19
3.2 Welche Emissionspfade sind mit dem verbleibenden THG-Budget kompatibel?	21
4 LITERATUR.....	23

KURZFASSUNG

Die Entwicklungen der letzten Dekaden haben der Weltgemeinschaft bewusst gemacht: Die Stabilisierung des Klimas ist als Ziel gleichrangig zu jenen der ökonomischen Entwicklung, der Menschenrechte, der Demokratie und des Friedens zu setzen (UNFCCC, 2015; UN General Assembly, 2015). Denn die Erreichung dieser Ziele interagiert zunehmend, nur in ihrer Gesamtheit können sie die Stabilität und Robustheit unserer Gesellschaften und des Natursystems gewährleisten.

Österreich hat im Jahr 2016 das Pariser Klimaschutzübereinkommen ratifiziert, in dem das Ziel verankert ist, den globalen Temperaturanstieg auf unter 2°C, wenn möglich auf unter 1,5°C, zu beschränken. Dadurch wurde auch dem EU-Fahrplan zum Übergang zu einer klimafreundlichen Wirtschaft (Reduktion der THG-Emissionen um 80 bis 95 % bis Mitte des Jahrhunderts bezogen auf 1990) zusätzliches Gewicht verliehen. Nach naturwissenschaftlichem Konsens ist es für die Eindämmung des Temperaturanstiegs bei bzw. auf deutlich unter 2°C unerlässlich, aus der Nutzung fossiler Energieträger bis Mitte des Jahrhunderts auszusteigen, sowie die nicht-energetischen Emissionen (etwa aus chemischen Prozessen oder der Landnutzung) netto global auf annähernd Null zu reduzieren (Rockström et al., 2017).

Bedingt durch die lange Verweildauer von Treibhausgasen in der Atmosphäre (CO₂ z.B. mehrere hundert Jahre), ist der Effekt der kumulierten Emissionen über eine Zeitspanne von Bedeutung. Zur Sichtbarmachung dieses kumulierten Effekts eignet sich das Konzept des Treibhausgasbudgets. Das Treibhausgasbudget ist jene Menge der Treibhausgasemissionen aus anthropogenen Quellen, die seit Beginn der Industrialisierung freigesetzt wurde bzw. noch freigesetzt werden kann, um eine Temperaturerhöhung über 2 °C bzw. über 1,5 °C mit einer Wahrscheinlichkeit von zumindest zwei Drittel zu vermeiden.

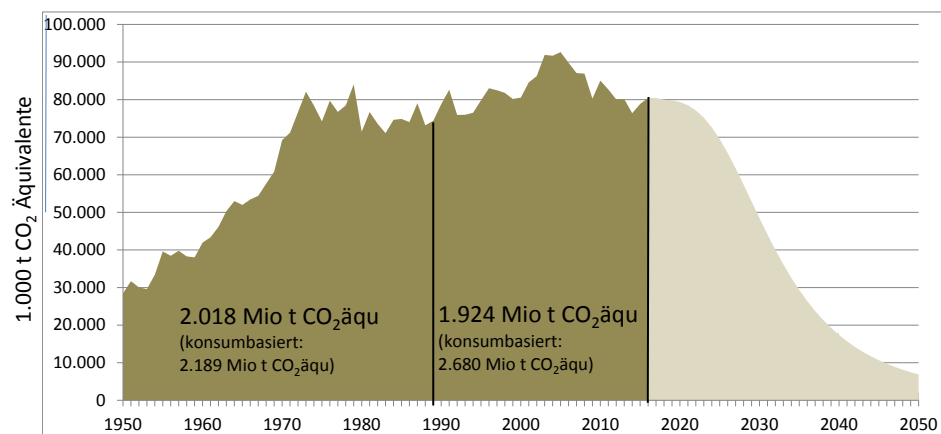
Aus dem global ab 2017 noch verfügbaren Treibhausgasbudget lässt sich jenes für Österreich ableiten. Hierfür gibt es auf Basis ethischer Prinzipien verschiedene Möglichkeiten, die in diesem Bericht gegenübergestellt werden. Sodann ermittelt dieser Bericht das Treibhausgasbudget für Österreich mittels zwei unterschiedlicher Ansätze.

Im ersten Ansatz wird das Budget in der globalen Zuteilung vom heutigen Emissionsniveau jedes Landes ausgehend so festgelegt, dass die Emissionen linear bis zum Jahr 2050 auf ein dann einheitliches Emissionsniveau pro Kopf geführt werden (im Fall Österreichs müssten die Emissionen deutlich reduziert werden). Nach diesem Ansatz („Verringerung und Konvergenz“) ergibt sich ein Treibhausgasbudget für Österreich von rund 1.500 Mio t CO₂äqu für den Zeitraum 2017-2050.

In einem zweiten Ansatz kann das Budget nach dem Gleichheitsprinzip, und zwar nach einer bereits ab einem bestimmten früheren Zeitpunkt gleichen Verteilung pro Kopf der Weltbevölkerung zugeteilt werden. Diese Verteilung des global verfügbaren Gesamtbudgets aufgrund der Bevölkerungszahl bedeutet, dass alle Staaten gleiche, über den festgelegten Zeitraum kumulierte, pro-Kopf Emissionen zugeteilt bekommen. Mit Inkrafttreten des Pariser Abkommens im November 2016 ist die Zuteilung ab dem Jahr 2017 naheliegend. Es ergibt sich nach diesem Prinzip ein für Österreich verfügbares Treibhausgasbudget für den Zeitraum 2017 bis 2050 in Höhe von knapp 1.000 Mio t CO₂äqu. Würden zudem auch die historischen (global überdurchschnittlich hohen) Pro-Kopf Emissionen Österreichs berücksichtigt, oder würden auch der zukünftig fallende globale Bevölkerungsanteil Österreichs herangezogen, so wäre das jeweils verfügbare Treibhausgasbudget nochmals geringer.

Wie verhält sich dieses Treibhausgasbudget zu den bisherigen österreichischen Emissionen? Wenn die Emissionen innerhalb der österreichischen Grenzen betrachtet werden (produktionsbasierter Ansatz der Emissionsbilanzierung), so wurden in Österreich in den Zeiträumen zwischen 1950 und 1989 (~40 Jahre), sowie zwischen 1990 und 2015 (25 Jahre) jeweils rund 2.000 Mio t CO₂äqu. emittiert. Wenn eine endnachfragebasierte Emissionsabgrenzung verwendet wird, und die in Importen nach Österreich implizit enthaltenen sogenannten „grauen“ Emissionen (die in anderen Ländern in der Produktion dieser Güter angefallen sind) berücksichtigt werden, nicht aber die in Österreich entstandenen Emissionen, die mit Exportgütern in Verbindung stehen, so waren die Emissionsmengen höher, zwischen 1990 und 2015 lagen sie aggregiert bei knapp 2.700 Mio t CO₂äqu.

Abbildung 1: Historische Treibhausgas-Budgets Österreichs seit 1950 im Vergleich mit dem noch verfügbaren Budget bis 2050



Mit dem noch verfügbaren, deutlich geringeren Budget gilt es nicht nur für die verbleibende längere Zeitspanne von 33 Jahren auszukommen, sondern zugleich auch die Netto-Emissionen bis zur Jahrhundertmitte auf nahe Null zu senken.

Eine Beibehaltung heutiger Emissionsniveaus braucht das Budget Österreichs bereits deutlich früher auf (2035), wie auch eine zu geringe Senkung derselben es vor 2050 aufbraucht. Es ist daher notwendig, dass in den kommenden drei Dekaden eine umfassende Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft so gestaltet wird, dass auch die österreichischen Treibhausgasemissionen in diesem Zeitfenster auf netto nahe Null reduziert werden.

Der aktuelle Wissensstand geht davon aus, dass mit dem hier zugrunde gelegten globalen Budget eine Begrenzung innerhalb 2 Grad Celsius globaler Temperaturerhöhung mit überwiegender Wahrscheinlichkeit gewährleistet ist (IPCC, 2014; Rockström, 2017). Eine Erhöhung im globalen Schnitt um zwei Grad bedeutet für Österreich eine Temperaturerhöhung im Bereich von 4,5 bis 6,6 Grad Celsius (Jacob et al., 2013).

1 EINLEITUNG

Die Entwicklungen der letzten Dekaden haben der Weltgemeinschaft bewusst gemacht: Die Stabilisierung des Klimas ist als Ziel gleichrangig zu jenen der ökonomischen Entwicklung, der Menschenrechte, der Demokratie und des Friedens zu setzen (UNFCCC, 2015; UN General Assembly, 2015). Denn die Erreichung dieser Ziele interagiert zunehmend, nur in ihrer Gesamtheit können sie die Stabilität und Robustheit unserer Gesellschaften und des Natursystems gewährleisten.

So werden die Klimafolgeschäden allein in Österreich bis zur Mitte des Jahrhunderts auf zumindest 4,2-8,8 Mrd. € – jährlich – anwachsen (Steininger et al., 2015, 2016), und danach – sollte bis dahin kein Übergang auf eine klimaverträgliche Wirtschaft erfolgen – weiter ansteigen.

In diesem Kontext hat sich die Weltgemeinschaft mit dem Inkrafttreten des Pariser Klimaschutzübereinkommens ein Ziel gegeben, das dem EU-Fahrplan zum Übergang zu einer klimafreundlichen Wirtschaft (Reduktion der THG-Emissionen um 80 bis 95 % bis Mitte des Jahrhunderts bezogen auf 1990) zusätzliches Gewicht verleiht. Nach naturwissenschaftlichem Konsens ist es für die Eindämmung des Temperaturanstiegs bei bzw. auf deutlich unter 2°C unerlässlich, aus der Nutzung fossiler Energieträger bis Mitte des Jahrhunderts auszusteigen, sowie auch die nicht-energetischen Emissionen (etwa aus chemischen Prozessen oder der Landnutzung) netto global auf annähernd Null zu reduzieren.

Bedingt durch die lange Verweildauer von Treibhausgasen in der Atmosphäre (CO₂ z.B. mehrere Hundert Jahre), ist der Effekt der kumulierten Emissionen über eine Zeitspanne von Bedeutung. Zur Sichtbarmachung dieses kumulierten Effekts eignet sich das Konzept des Kohlenstoffbudgets. Das Kohlenstoffbudget (bzw. Treibhausgasbudget) ist jene Menge der CO₂-Emissionen (bzw. Treibhausgasemissionen) aus anthropogenen Quellen, die seit Beginn der Industrialisierung freigesetzt wurde bzw. noch freigesetzt werden kann, um eine Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur über 2 °C bzw. über 1,5 °C zu vermeiden. Anhand des noch verfügbaren Treibhausgasbudgets lassen sich zudem Fragen zu dessen Aufteilung auf Weltregionen oder Länder bzw. die Weltbevölkerung analysieren.

In diesem Bericht werden zunächst die in der Literatur diskutierten Ansätze zur Aufteilung des globalen Treibhausgasbudgets auf einzelne Staaten beschrieben und diskutiert. Dann wird aus dem global verfügbaren Budget der Anteil Österreichs nach verschiedenen Ansätzen berechnet, es werden die Ergebnisse verglichen, sowie in Beziehung zu den derzeitigen jährlichen Emissionsniveaus gesetzt.

2 TREIBHAUSGASBUDGET

2.1 Das globale Kohlenstoffbudget

Anthropogene Treibhausgasemissionen seit Beginn der industriellen Revolution sind der Hauptfaktor für den Anstieg der Konzentrationen von Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O). Laut IPCC (2014) betrugen zwischen 1750 und 2011 die kumulativen menschlichen Emissionen von CO_2 $2040 \pm 310 \text{ GtCO}_2$. Davon verblieben rund 40% in der Atmosphäre ($880 \pm 35 \text{ GtCO}_2$), der Rest wurde am Boden (in Pflanzen und dem Boden) bzw. in den Meeren gebunden. Rund 30% des gesamten anthropogen verursachten CO_2 wurde von den Ozeanen absorbiert, was zu einer Versäuerung der Weltmeere beigetragen hat. Rund die Hälfte aller menschlich verursachten CO_2 Emissionen zwischen 1750 und 2011 fanden (mit hoher Sicherheit) in den letzten 40 Jahren statt. Mit noch höherer Sicherheit lässt sich annehmen, dass der bisherige Temperaturanstieg zwischen 1951 und 2010 durch den menschlich verursachten Anstieg an Treibhausgasen in der Atmosphäre und die Schädigung der Ozonschicht verursacht wurden. Dies belegt eine beinahe lineare Korrelation zwischen CO_2 -Konzentration und der Erhöhung der Durchschnittstemperatur. D.h. für die Erhöhung der Temperatur spielt der kumulative Effekt der Emissionen (also deren Verbleib in der Atmosphäre) eine zentrale Rolle.

Mit dem Konzept des Kohlenstoffbudgets wird der kumulative Aspekt der Treibhausgasemissionen veranschaulicht. IPCC (2014) präsentiert Szenarien für kumulierte CO_2 -Emissionen (Kohlenstoffbudgets) in Abhängigkeit einer Begrenzung der Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur ($<1,5^\circ\text{C}$, $<2^\circ\text{C}$, $<3^\circ\text{C}$) und der Wahrscheinlichkeit, eine Begrenzung der Temperaturerhöhung einzuhalten (66 %, 50 %, 33 %). Aufgrund der Komplexität des Klimasystems kann zwar keine exakte Menge berechnet werden, wie viel CO_2 noch in die Atmosphäre abgegeben werden kann, um eine bestimmte Grenze tatsächlich einzuhalten. Es können allerdings *Wahrscheinlichkeiten* dafür angegeben werden, dass bestimmte Mengen unter dem kritischen Level bleiben. Generell gilt: Je geringer die angestrebte Temperaturveränderung und je wahrscheinlicher deren Zielerreichung sein sollen, umso kleiner muss das noch verfügbare Kohlenstoffbudget ausfallen.

Laut IPCC (2014) müssen die kumulierten menschlichen Emissionen seit 1870 unterhalb von 2900 GtCO_2 liegen, um die Grenze einer Erderwärmung von 2°C (mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 66%) nicht zu überschreiten. Bis 2011 wurden bereits 1900 GtCO_2 emittiert, danach bis 2016 weitere knapp 200 GtCO_2 (Rockström et al. 2017). Das bedeutet, dass nur rund 800 GtCO_2 „übrig“ bleiben. Für den nach 2016 (also ab 2017) verbleibenden Zeitraum bis 2050 als insgesamt zulässige Emissionen werden daraus allgemein 700 GtCO_2 angesehen, um für die zweite Hälfte des Jahrhunderts noch gerade 100 GtCO_2 für die dann auslaufenden Emissionen aufzubehalten (z. B. Rockström et al., 2017).

Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die Zielsetzung des Pariser Übereinkommens, welches am 4. November 2016 in Kraft getreten ist, darüber hinausgeht. Das Übereinkommen zielt darauf ab, den Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur deutlich unter 2°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu halten und Anstrengungen zu unternehmen, um den Temperaturanstieg auf $1,5^\circ\text{C}$ über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Dies würde die Risiken und Auswirkungen der Klimaänderungen erheblich verringern. Um den globalen Temperaturanstieg mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% bei $1,5^\circ\text{C}$ zu begrenzen sind zusätzlich zur Einhaltung des zuvor genannten Kohlenstoffbudgets Entnahmen von Treibhausgasen aus der

Atmosphäre aufzubauen, z.B. durch Änderungen in der Landnutzung (Erhöhung der Aufnahme in den Böden durch den Humus; Aufforstung) oder der Verknüpfung von Nutzung von Bioenergie mit der Einlagerung der Emissionen mittels Carbon Capture and Storage (bioenergy CCS, BECCS), und in der zweiten Jahrhunderthälfte zur umfangreichen Nutzung auszubauen (Rockström et al. 2017 ermitteln eine daraus erforderliche zu erzielende Reduktion der Konzentration um netto 500 Gt CO₂ bis 2100). Sollten solche Entnahmen (auch als negative Emissionen bezeichnet) nicht als Option gesehen werden, wäre für die Erreichung des 1,5 °C Ziels bereits heute nur mehr ein signifikant geringeres Kohlenstoffbudget verfügbar. In gleicher Weise: sollte die Realisierung solcher Entnahmooptionen nicht im erforderlichen Umfang als möglich gesehen werden, wäre das Kohlenstoffbudget bis 2050 dementsprechend kleiner als die zuvor angeführten 700 Gt CO₂.¹

2.2 Die Berechnung nationaler Kohlenstoff bzw. Treibhausgasbudgets

Vor Berechnung eines nationalen Kohlenstoff- bzw. Treibhausgasbudgets auf Basis eines globalen Budgets müssen zunächst einige konzeptionelle Fragen geklärt werden:

1. Handelt es sich um ein Kohlenstoffbudget, das nur CO₂ abdeckt, oder ein Treibhausgasbudget, das alle Treibhausgase abdeckt. Die üblicherweise als Carbon Budget bezeichneten Ansätze berücksichtigen nur Kohlenstoff bzw. CO₂ während andere Ansätze (Treibhausgasbudgets) alle sechs Treibhausgase (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆) berücksichtigen, die in CO₂-Äquivalenten angegeben werden.
2. Soll das Kohlenstoff- bzw. Treibhausgasbudget nur energierelevante Emissionen abdecken oder auch andere Emissionen wie Prozessemissionen der Industrie, Landwirtschaft, Landnutzung und Forstwirtschaft, Abfallwirtschaft, etc.? In diesem Zusammenhang ist insbesondere wichtig, ob das Kohlenstoff- bzw. Treibhausgasbudget auch Kohlenstoffsenken berücksichtigt und mit diesen anwächst.
3. Für ein Kohlenstoffbudget, das nur CO₂ ausweist, ist es relevant, welche Annahmen bezüglich der Reduktion von anderen Treibhausgasen gemacht werden. Wenn zum Beispiel ehrgeizige Pläne zur Reduktion der CH₄-Emissionen angenommen werden, dann kann ein Kohlenstoffbudget höher ausfallen, das nur auf CO₂ abstellt.

Da die Festlegung eines Treibhausgasbudgets für ein Land nicht nur Auswirkungen auf den Energieverbrauch und die wirtschaftliche Entwicklung des eigenen Landes hat, sondern auch das Treibhausgasbudget anderer Länder beeinflusst, müssen auch **ethische Überlegungen** angestellt werden. In diesem Zusammenhang werden in der

¹ Die in der Literatur verfügbaren Carbon Budgets variieren mit der Annahme über die Entwicklung der Nicht-CO₂-Treibhausgasemissionen (je stärker letztere sinken, umso größeres Carbon Budget verbleibt für CO₂) und unterscheiden sich vor allem in Hinblick auf die Berücksichtigung der folgenden mit dem „committed warming“ (aufgrund der bereits emittierten Treibhausgase im System bereits gespeicherten zukünftigen Erwärmung) verbundenen (verstärkenden) feedback-Effekte über (a) geänderte Interaktion Boden-Forst-Biosphäre und (b) Methanabgasung. Größere Carbon Budgets werden dann abgeleitet, wenn diese Rückwirkungen in den darin verwendeten Modellen nicht berücksichtigt werden (zB Millar et al., 2017). In der vorliegenden Arbeit beziehen wir uns auf Carbon Budgets, die auf jenen komplexeren Modellen beruhen, die diese Rückwirkungen berücksichtigen (Rockström et al., 2017).

Fachliteratur und z.B. auch vom Wissenschaftlichen Beirat der deutschen Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) sowie vom Weltklimarat (IPCC) folgende Prinzipien unterbreitet (WBGU, 2009, 22; Meyer 2013; Kolstad et al. (2015), 214-219):

Verursacherprinzip: Für die Industrieländer ergibt sich aufgrund ihrer hohen kumulierten Emissionen in der Vergangenheit die besondere Verpflichtung zur Reduktion der Treibhausgasemissionen.

Vorsorgeprinzip: Um irreversible Schäden für gegenwärtige und zukünftige Generationen zu vermeiden, ist erforderlich rechtzeitig zu handeln – nicht nur in den Industrieländern, es muss auch der Entwicklungspfad der Schwellen- und Entwicklungsländer klimaverträglich gestaltet werden.

Gleichheitsprinzip: Es gibt kein Naturrecht der Menschen in den Industrieländern auf Pro-Kopf-Emissionen, welche die Emissionen der Menschen in den Entwicklungsländern um ein Vielfaches übersteigen. Daher führt langfristig kein Weg daran vorbei, gleiche oder annähernd gleiche Pro-Kopf-Emissionen für alle Länder zu ermöglichen bzw. ein solcherart definiertes Recht anzustreben.

Nutznieserprinzip (oder Begünstigungsprinzip): Grundlage der Zuteilung sind hierbei nicht die Verursacher der (Umwelt-) Schäden, sondern die Nutznießer einer Maßnahme. Sie zahlen für Klimaschutzmaßnahmen z.B. einen Beitrag an die Verursacher zum Ausgleich der Einkommenseinbußen, die diese durch die Klimaschutzmaßnahme erleiden.

Zahlungsfähigkeitsprinzip: Die Verteilung des globalen Emissionsbudgets soll auf der Grundlage der finanziellen, wirtschaftlichen und technischen Kapazitäten erfolgen.

Betreffend die Praktikabilität und Operationalisierung dieser Prinzipien hat Page (2012) diskutiert, dass das Begünstigungsprinzip gegenüber dem Verursacherprinzip und dem Zahlungsfähigkeitsprinzip im Nachteil ist, insofern es eine Identifikation von relevanten Begünstigungen erfordert. Er führt dann aber die Annahmen ein, dass (1) der gesamte heute existierende Reichtum in irgendeiner Weise auf Aktivitäten zurückgeht, die zum Klimawandel beigetragen haben; und (2) eine robuste Antwort auf den Klimawandel nur einen sehr geringen Teils dieses Reichtums bedürfte. Auf Grundlage dieser Annahmen scheint die Anwendung des Begünstigungsprinzips (zumindest, wenn man es Page gemäß deutet) dann lediglich jenen empirischen Input zu erfordern, den man auch für das Zahlungsfähigkeitsprinzip benötigt.

In der Literatur werden primär zwei Ansätze zur Berechnung eines nationalen Kohlenstoffbudgets auf Basis eines globalen Kohlenstoffbudgets herangezogen, die beide den oben genannten ethischen Prinzipien entsprechen. (1) Verringerung und Konvergenz („Contraction and convergence“); (2) Berechnung auf Basis der Bevölkerungszahl.

2.2.1 Ansatz Verringerung und Konvergenz („Contraction and convergence“)

Ausgangspunkt der Berechnungen sind die globalen Pro-Kopf-Emissionen, die auf einen bestimmten Zielwert sinken müssen („contraction“). Länder, die über dem globalen Wert liegen, müssen ihre Pro-Kopf-Emissionen senken. In Ländern, deren Pro-Kopf-Emissionen unter dem globalen Wert liegen, können die Emissionen ansteigen

(so können Entwicklungsländer davon profitieren), bis sie dann beim Zielwert zusammenlaufen ("convergence").

Für Australien hat die Climate Change Authority ein nationales Emissionsbudget auf Basis von „Contraction and convergence“ berechnet (<http://climatechangeauthority.gov.au/reviews/targets-and-progress-review-3>). Allerdings wurde der Ansatz modifiziert, um Entwicklungsländern mit einem raschen Wirtschaftswachstum für eine Übergangsperiode extra Rechte für die pro-Kopf-Emissionen zu ermöglichen. Damit können Entwicklungsländer, die bereits jetzt nahe der pro-Kopf-Grenze sind, weiter wachsen, was unter einem „reinen“ Ansatz „Contraction and convergence“ nicht möglich wäre. In diesem würden sie entweder ihr Wirtschaftswachstum einstellen müssen, oder große Mengen an Emissionsrechten von anderen Ländern kaufen müssen. Im Jahr 2050 würden alle pro-Kopf-Emissionen auf der ganzen Welt wieder gleich sein müssen.

Jonas und Zebrowski (2016) modellieren global, EU-weit und für Österreich lineare Emissionszielpfade anhand des Ansatzes „Contraction and convergence“. Es werden alle Treibhausgase abgedeckt (also neben CO₂ auch CH₄, N₂O, (H)FKWs und SF₆) und es wird zwischen Technosphäre und Ökosphäre (Veränderungen in der Landnutzung) unterschieden. Die Zielpfade werden für drei Startjahre (1990, 2000, 2010) und drei Temperaturziele gerechnet (2°C, 3°C, 4°C). Den Zielpfaden werden die tatsächlichen Emissionen und die Emissionsprognosen gegenübergestellt und diagnostische² und prognostische³ Unsicherheiten berücksichtigt. Die Fläche unter den Zielpfaden entspricht jeweils dem Emissionsbudget.

2.2.2 Ansatz gleiche Verteilung pro-Kopf

Die Verteilung des global verfügbaren Gesamtbudgets aufgrund der Bevölkerungszahl bedeutet, dass alle Staaten gleiche, über einen festgelegten Zeitraum *kumulierte* pro-Kopf Emissionen zugeteilt bekommen, also gemäß dem Gleichheitsprinzip und nicht nach dem Verursacher-, Nutznießer- und Zahlungsfähigkeitsprinzips. Der auf dem Gleichheitsprinzip beruhende Ansatz lässt sich mit nur vier Parametern operationalisieren (WBGU, 2009):

1. Das *Anfangsjahr* bestimmt, ab wann der Verteilungsschlüssel gelten soll. Je weiter dieses in die Vergangenheit gerückt wird, umso mehr sind auch bereits getätigte Emissionen mit einberechnet, was bedeutet, dass die Länder, die bereits viel emittiert haben (also Industriestaaten) ein entsprechend geringeres Budget zur Verfügung haben werden.
2. Das *Endjahr*, bis zu dem die Emissionsverminderungen erreicht werden müssen.
3. Das *globale Emissionsbudget*, das den einzelnen Ländern zugerechnet werden soll.
4. Das *demografische Referenzjahr* bestimmt, wie viel pro-Kopf Emissionen den einzelnen Ländern zugewiesen werden. Ein späteres demografisches Referenzjahr ist vorteilhaft für jene Länder, die eine stark wachsende Bevölkerung aufweisen. Es wäre auch denkbar, statt eines einzelnen Jahres

² Das Risiko, dass tatsächliche Treibhausgasemissionen größer sind als in den Inventuren abgebildet.

³ Das Risiko, dass das vereinbarte Ziel von 2050 überschritten wird.

die (mittlere) Bevölkerungsdynamik über einen größeren Zeitraum zu Grunde legen.

WBGU (2009) schlagen zwei Optionen für die Ausgestaltung des Budgetansatzes vor:

Option I: historische Verantwortung

Hierbei wird das Jahr 1990 als Basisjahr herangezogen, da zu dieser Zeit das Klimaproblem bereits bekannt war, und der erste IPCC Bericht zu diesem Thema veröffentlicht wurde. Die Grundannahme ist daher, dass sich die einzelnen Staaten ihrer Verpflichtung bereits bewusst hätten sein müssen, da sie auch in die Entstehung des Berichts eingebunden waren. Tatsächlich stiegen in den Industriestaaten seither die Emissionen stetig. Wenn also für jedes Land ein Emissionsbudget ab 1990 abgeleitet wird, und die bisher erfolgten Emissionen davon abgezogen werden, dann haben bis heute viele Industrieländer einen erheblichen Teil ihres Budgets schon verbraucht (oder sind sogar schon negativ). Die einzige verbleibende Möglichkeit wäre dann, dass Industriestaaten Emissionsbudgets von den Ländern kaufen, die ihres bis 2050 voraussichtlich nicht aufbrauchen werden, was zu einem bedeutenden finanziellen Transfer von Nord nach Süd führen würde.

Historische Verantwortung wird häufig anspruchsvoller, nämlich gemäß dem Nutznießerprinzip verstanden. Dieses verlangt gleiche Pro-Kopf-Begünstigungen aus Aktivitäten, die mit Emissionen einhergehen. Demnach wird der Nutzen berücksichtigt, den heute lebende Menschen (als Mitglieder von Staaten) aufgrund ihrer eigenen Emissions-relevanten Aktivitäten realisieren, so wie auch aufgrund der Aktivitäten früher lebender Menschen, die mit Emissionen einhergingen. Ob den früher Lebenden die Klima-Konsequenzen ihrer Handlungen bekannt waren, ist gemäß dem Nutznießerprinzip nicht relevant (Heyd, 2017). Die im folgenden in diesem Bericht vorgestellten Berechnungen berücksichtigen die ungleichen Begünstigungen aus historischen Emissionen nicht.

Option II: Zukunftsverantwortung

Hierbei wird das noch verbleibende Emissionsbudget gleichmäßig auf die gesamte Weltbevölkerung aufgeteilt. Dabei hätte jeder Mensch auf der Welt ein ihm zur Verfügung stehendes, gleich großes Budget bis 2050. Grob gesprochen gibt es dann drei Kategorien von Ländern (WBGU, 2009):

1. Länder, deren Budget bei Beibehaltung des derzeitigen Emissionsniveaus in weniger als 20 Jahren überzogen werden, und die daher bereits deutlich vor 2050 Nullemissionen erreichen müssten, um mit ihrem Budget auszukommen, oder von anderen Ländern Emissionsrechte zukaufen müssten. Derzeit sind dies rund 60 Länder der Welt, im wesentlichen die Industrieländer, darunter auch Österreich.
2. Länder, deren Budget bei derzeitiger Emissionsmenge für 20-40 Jahre reichen würde, d.h. bis maximal 2050. Dies betrifft rund 30 Länder der Welt. Allerdings könnten diese Schwellenländer ihre Emissionen gerade noch bis 2025 ansteigen lassen, sollten dann aber eine Trendumkehr erwirken, um ihre Budgets nicht zu überschreiten. Einige dieser Länder wären dann wohl dazu in der Lage zu späterer Zeit ihre Emissionsrechte zu verkaufen.
3. Länder, deren Budget bei Beibehaltung des derzeitigen Emissionsniveaus bis 2050 nicht ausgeschöpft wird. Dies umfasst derzeit rund 95 Staaten, die aktuell nur rund 12% der weltweiten Emissionen, aber rund 50% der Weltbevölkerung stellen. Somit würden diese Staaten über rund die Hälfte des Emissionsbudgets verfügen. Allerdings müssen auch diese Länder, v.a. die

im „oberen“ Ende der Gruppe, namentlich Brasilien, Ägypten und Peru, ihre Emissionen von ihrem angesteuerten Wirtschaftswachstum abkoppeln, um problemlos mit ihrer zugewiesenen CO₂ Menge auszukommen. Indien hätte nach diesen Berechnungen die Möglichkeit, bis 2050 die pro-Kopf Emissionen stetig steigen zu lassen, müsste mit 2050 dann aber sämtliche Emissionen einstellen. Ist der Anstieg geringer oder wird eine Reduktion erzielt, reicht das Budget über 2050 hinaus.

Für Österreich hat Kopetz (2016) eine Berechnung des Emissionsbudgets 2015-2050 nach diesem Ansatz durchgeführt. Auf Basis von IPCC (2014) geht er dabei von einem globalen Budget ab 2015 von 850 Gt CO₂ aus und errechnet den Anteil Österreichs anhand des Bevölkerungsanteils aus dem Jahr 2015.

2.3 Österreichs Treibhausgas-Budget ab 2017

Das UN-Klimaübereinkommen mit dem Ziel die Temperaturerhöhung global bei jedenfalls 2⁰ C, möglichst bei 1,5⁰ C zu beschränken wurde im Dezember 2015 in Paris vereinbart, und trat nach der Ratifizierung durch eine ausreichend große Zahl von Ländern am 4. November 2016 in Kraft. Daraus ergibt sich aus den Naturwissenschaften ein globales Treibhausgasbudget, das global ab 2017 maximal noch emittiert werden darf, also nicht überschritten werden darf, um dieses Ziel einzuhalten.

In diesem Kapitel werden drei Berechnungen des Österreichischen THG-Budgets auf Basis des globalen Budgets erläutert. Grundlage der Berechnungen für Österreich sind die 700 Gt CO₂, die laut IPCC (2014) und Rockström et al. (2017) ab 2017 bis 2050 global emittiert werden können, um die 2°C-Grenze nicht zu überschreiten. Dieses Budget kann in ein global gesamtes Treibhausgasbudget (mit auch den Nicht-CO₂-Gasen) in Höhe von 1.000 GtCO₂e umgerechnet werden.⁴

Zunächst erfolgt die Berechnung für Österreich basierend auf der Methode von Jonas und Zebrowski (2016) („Verringerung und Konvergenz“; „contraction and convergence“); danach werden zwei Berechnungen auf Basis eines gleichgewichteten Bevölkerungsansatzes durchgeführt. Mit allen Berechnungen wird ein Budget für den Zeitraum 2017 bis 2050 ermittelt. Die Berechnungen verwenden dabei das Jahr 2015 als Basisjahr der Bevölkerungszuteilung, sowie das Basisjahr 2017 für das noch verfügbare THG-Budget, nur für das von Kopetz (2016) mit dem Basisjahr 2015 ermittelte Budget wird unter Abzug der bereits erfolgten Emissionen (gemessen 2015, geschätzt 2016) erst auf ein Budget umgerechnet, das ab 2017 zur Verfügung steht. Eine Berechnung auf Basis 1990 („historische Verantwortung“) wurde nicht durchgeführt, allerdings stellen im Abschnitt 3 die Tabellen 4 und 5 die THG-Budgets in den Kontext der historischen Emissionen.

⁴ Dieser aus der Literatur verfügbare Wert des Treibhausgas-Budgets (inklusive Nicht-CO₂ Gase) wird auch durch die jüngst veröffentlichte Arbeit von Millar et al. (Sept 2017) bestätigt. Die Differenz im auf CO₂ bezogenen Carbon Budget in den beiden Varianten ohne und mit radikale Non-CO₂ Emissionsreduktion (letztere erhöht gegengleich das Budget für den noch möglichen CO₂ Ausstoß) beträgt 38 GtC (somit 140 GtCO₂). Gemeinsam mit dem auch im Fall radikaler Emissionsreduktion durch Nicht-CO₂ Emissionen in Hinkunft verbrauchten Budget in etwa der gleichen Höhe ergibt sich die Differenz des um rund 300 GtCO₂äqu höheren globalen Treibhausgasbudget (für alle Treibhausgase) gegenüber dem globalen Carbon Budget (nur für CO₂).

2.3.1 Berechnung auf Basis des Ansatzes „Verringerung und Konvergenz“

Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, liegt eine Abschätzung des THG Budgets für Österreich basierend auf dem Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ („Contraction and convergence“) bereits vor. Jonas und Zebrowski (2016) haben das THG Budget für Österreich für die Periode 2010-2050 mit 1.807 Mio t CO₂-Äquivalenten abgeschätzt (Köppl et al., 2016: 29). Um das Budget nach diesem Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ nunmehr abzuleiten (a) für den Zeitraum 2017-2050 und (b) unter zugrunde Legung des noch verfügbaren globalen Budgets gemäß Rockström et al. (2017), und somit auf konsistenter Ausgangsdatenbasis vergleichbar zu den anderen in diesem Bericht gegenübergestellten Ansätzen zu machen, wird die Methode von Jonas und Zebrowski (2016) angewandt, um ein nunmehr ab 2017 global verfügbares Budget von 1.000 Gt CO₂-Äquivalenten auf den Anteil Österreichs so umzulegen, dass ausgehend von heutigen Emissionsniveaus aller Länder bis 2050 ein global gleiches Pro-Kopf Emissionsniveau erreicht wird (1,04 t CO₂äqu.).⁵ Es ergibt sich aus gleichen globalen pro-Kopf Emissionen im Jahr 2050 ein maximal zulässiger Emissionswert für Österreich für das Jahr 2050 (unter der Annahme einer österreichischen Bevölkerung gemäß IIASA SSP Datenbasis (SSP2) von 9,214 Mio.) in Höhe von 9,5 Mio t CO₂äqu., sowie ein Treibhausgasbudget für 2017-2050 in Höhe von rund 1.500 Mio tCO₂äqu. (vgl. Tabelle 1). Zu beachten ist hierbei die Zuteilung der Emissionen aus dem internationalen Luft- und Seeverkehr, die aktuell zwar von den einzelnen Ländern berichtet werden, diesen aber in ihren nationalen Bilanzen nicht als Land zugerechnet werden. Es handelt sich hierbei somit um Emissionen, die global erfolgen, aber in der Summe der Emissionen der einzelnen Länder nicht enthalten sind. Das globale Treibhausgasbudget wird auch durch diese Emissionen aufgebraucht. Der global gleiche pro-Kopf Emissionswert im Jahr 2050 umfasst somit jedenfalls auch die Emissionen aus dem internationalen Luft- und Seeverkehr. Beim Startwert der Emissionszuteilung im Jahr 2017 sind beide Varianten denkbar:

- (i) Als Ausgangspunkt die aktuell den Ländern zugerechneten Emissionen gemäß deren nationaler Bilanzen heranzuziehen, dann ergibt sich für die Periode 2017 bis 2050 das in Tabelle 1 angeführte Treibhausgasbudget für Österreich.
- (ii) Als Ausgangspunkt jene Emissionen heranzuziehen, die von den Ländern gemäß UNFCCC Richtlinie *berichtet* werden – denn dann werden auch die mit dem internationalen Luft- und Seeverkehr verbundenen Emissionen folgendermaßen einbezogen: Emissionen aus „International Bunker Fuels“, die auf Basis der in den jeweiligen Ländern getankten Kraftstoffmengen ermittelt werden. Werden diese Emissionen bei den jeweiligen Ländern miteinbezogen, so ist der Startwert Österreichs höher, und somit auch der Anteil aus dem global fixen Budget der Österreich hiermit zugeordnet wird. Es ergibt sich ein etwas höherer Wert von 1.541 Mio t CO₂äqu wie in der Fußnote berichtet.

Da das nur die Technosphäre betrifft, werden die Emissionen ohne LULUCF⁶ (Landnutzung, Landnutzungsveränderung und Forstwirtschaft) berücksichtigt.

⁵ Als Weltbevölkerung im Jahr 2050 wird gemäß der IIASA SSP Datenbank das Szenario SSP2 (mittleres Szenario) mit 9,16 Mrd. Menschen unterstellt.

⁶ Land use, land-use change and forestry

Tabelle 1: Österreichisches THG-Budgets 2017 bis 2050 zur Nicht-Überschreitung der 2°C-Grenze, basierend auf der Methode von Jonas und Zebrowski (2016) und dem Treibhausgasbudget von Rockström et al. (2017)

	Mio t CO ₂ -Äquivalente
Globales CO ₂ -Äquivalente Budget 2017-2050 laut IPCC (2014) und Rockström et al. (2017)	1.000.000
Österreichs THG-Budget 2017-2050 basierend auf „Verringerung und Konvergenz“ (auf Basis der Emissionen exklusive internationalem Luft- und Seeverkehr) ⁷	1.503

2.3.2 Berechnung auf Basis einer gleichgewichteten Bevölkerungszuteilung

Grundlage der Berechnungen für Österreich sind wie zuvor die 700 Gt CO₂, die laut IPCC (2014) und Rockström et al. (2017) ab 2017 bis 2050 global emittiert werden können, um die 2°C-Grenze nicht zu überschreiten.

Das CO₂-Budget muss dann noch umgerechnet werden in ein THG-Budget. Dies kann auf zwei Arten erfolgen. Es kann entweder von einem globalen gesamt-Treibhausgasbudget ausgegangen werden (1.000 GtCO₂äqu.)⁸, und dieses anhand des österreichischen Anteils an der globalen Bevölkerung auf Österreich heruntergebrochen werden. Oder es kann als Ausgangspunkt die aktuelle Relation der CO₂ zu Nicht-CO₂-Gasen in der Österreichischen THG-Inventur im Jahr 2015 herangezogen werden, und das österreichische CO₂-Budget anhand dieses Faktors erweitert werden.

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der beiden Berechnungen. Da die 700 Gt CO₂ aus IPCC (2014) bzw. Rockström et al. (2017) netto Emissionen betreffen, werden in den Tabellen die österreichischen THG-Emissionen inklusive LULUCF berücksichtigt.

⁷ Wenn auch die von den einzelnen Ländern zwar gemeldeten Emissionen im internationalen Luft- und Seeverkehr (diesen aber in deren nationalen Bilanzen nicht zugerechneten Emissionen) den einzelnen Ländern zugeschlagen werden, so ist auch in den Treibhausgasbudgets dafür vorzusehen, und starten diese von einem höheren Niveau. Für Österreich erhöht sich das Budget auf Basis inklusive der internationalen See- und Luftfahrtemissionen auf 1.541 Mio t CO₂ Äquivalente ab 2017 bis 2050.

⁸ Dieser aus der Literatur verfügbare Wert des Treibhausgas-Budgets (inklusive Non-CO₂ Gase) wird auch durch die jüngst veröffentlichte Arbeit von Millar et al. (Sept 2017) bestätigt. Die Differenz im auf CO₂ bezogenen Carbon Budget in den beiden Varianten ohne und mit radikale Non-CO₂ Emissionsreduktion (letztere erhöht gegengleich das Budget für den noch möglichen CO₂ Ausstoß) beträgt 38 GtC (somit 140 GtCO₂). Gemeinsam mit dem auch im Fall radikaler Emissionsreduktion durch Nicht-CO₂ Emissionen in Hinkunft verbrauchten Budget in etwa der gleichen Höhe ergibt sich die Differenz des um rund 300 GtCO₂äqu höheren globalen Treibhausgasbudget (für alle Treibhausgase) gegenüber dem globalen Carbon Budget (nur für CO₂).

Tabelle 2: Treibhausgasbudget Österreich 2017 bis 2050, Berechnung zur Nicht-Überschreitung der 2°C-Grenze auf Basis einer gleichgewichtigen Bevölkerungszurechnung

(a) Auf Basis Globales THG-Budget	
Globales CO ₂ -Äquivalente Budget 2017-2050 laut IPCC (2014) und Rockström et al. (2017)	1.000.000 Mio t CO ₂ äqu
Anteil Österreichs am globalen CO ₂ -äqu Budget berechnet mit dem Anteil Österreichs an der Weltbevölkerung 2015 (0.118%) Budget 2017-2015	1.180 Mio t CO ₂ äqu
(b) Auf Basis der österreichischen Emissionsrelation	
Globales CO ₂ -Budget 2017-2050 laut IPCC (2014) und Rockström et al. (2017)	700.000 Mio t CO ₂
Anteil Österreichs am globalen CO ₂ -Budget berechnet mit dem Anteil Österreichs an der Weltbevölkerung 2015 (0.118%)	827 Mio t CO ₂
Österreichs THG Budget 2017-2050 berechnet mit dem Anteil der Nicht-CO ₂ -Gase an den Gesamtemissionen inkl. LULUCF und inkl. internationalem Flugverkehr im Jahr 2015 (CO ₂ -Emissionen 83.9%) Budget 2017-2050	983 Mio t CO ₂ äqu

Auch innerhalb dieses Ansatzes lassen sich somit zwei Varianten unterscheiden, die eine unterschiedliche Zuteilung der Nicht-CO₂-Emissionen betreffen. In der österreichischen Treibhausgasemissionsbilanz sind die Nicht-CO₂-Emissionen von deutlich kleinerem Anteil als im weltweiten Durchschnitt - in anderen Ländern sind sie aufgrund von z.B. Methanemissionen aus der Landwirtschaft anteilig höher. Österreich hat hier somit zumindest weniger Zuteilungsbedarf. Wird dennoch das globale Budget auch an Nicht-CO₂-Emissionen gleichmäßig pro Kopf weltweit zugeteilt, so ergibt sich ein Treibhausgasbudget für Österreich für 2017 bis 2050 in Höhe von knapp 1.200 Mio t CO₂äqu. Wird hingegen der bereits heute geringere Anteil an Nicht-CO₂ Emissionen Österreichs berücksichtigt, ergibt sich ein für Österreich verfügbares Treibhausgasbudget für den Zeitraum 2017 bis 2050 in Höhe von knapp 1.000 Mio t CO₂äqu. Würden zudem auch die historischen (global überdurchschnittlich hohen) Pro-Kopf Emissionen Österreichs berücksichtigt, oder würden auch der zukünftig fallende globale Bevölkerungsanteil Österreichs herangezogen, so wäre das jeweils verfügbare Treibhausgasbudget nochmals geringer.

2.3.3 Synthese

Tabelle 3 zeigt einen Überblick über die Ergebnisse. Das Budget liegt für Österreich gemäß einem Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ („contraction and convergence“) ab 2017 bis 2050 bei rund 1.500 Mio t CO₂äqu., hier wird die global ungleiche pro-Kopfverteilung fortgeschrieben und bis 2050 reduziert. Wird hingegen sofort ein pro-Kopf global gleichgewichtetes Kohlenstoffbudget als Bemessungsgrundlage verwendet, liegt das Budget für Österreich für den Zeitraum 2015 bis 2050 deutlich niedriger. Werden hierbei die im Vergleich zu Österreich global wesentlich gewichtigeren Anteile der Nicht-CO₂-Emissionen in der Zuteilung des Nicht-CO₂-Budgets global gleichmäßig je Kopf berücksichtigt, so ergibt sich ein für Österreich verfügbares Budget von 1.180 Mio t CO₂äqu., wird hingegen die aktuelle Relation der CO₂ zu den Nicht-CO₂ Emissionen Österreichs zugrunde gelegt, ergibt sich ein Budget bei rund 980 Mio t CO₂äqu ab 2017.⁹

Tabelle 3: Übersicht Treibhausgas-Budget Österreich ab 2017 bis 2050 zur Nicht-Überschreitung der globalen 2°C-Grenze

	Treibhausgas-Budget [Mio t CO ₂ äqu]	
	2017-2050	
	Inkl. LULUCF	Exkl. LULUCF
„Verringerung und Konvergenz“ (Startwert inkl. internationalem Luft- und Seeverkehr)	1.459	1.541
„Verringerung und Konvergenz“ (Startwert exkl. internationalem Luft- und Seeverkehr)	1.421	1.503
Mit gleichgewichtetem Bevölkerungsschlüssel auf Basis des globalen Treibhausgasbudgets (CO ₂ und Nicht-CO ₂)	1.180	
Mit gleichgewichtetem Bevölkerungsschlüssel nach KOPETZ (2016)	1.046	
Mit gleichgewichtetem Bevölkerungsschlüssel auf Basis Carbon Budget Rockström et al. (2017) und auf Basis der Relation CO ₂ -Nicht-CO ₂ in der österreichischen THG Inventur	983	

⁹ Das auf einer anderen globalen Datenbasis (vgl. Abschnitt 2.2.2) ebenfalls nach dem Gleichverteilungsansatz von Kopetz (2016) ermittelte Budget (für 2015 berechnet, hier unter Abzug der in den Jahren 2015 (gemessen) und 2016 (geschätzt) emittierten Mengen) liegt dazwischen, bei rund 1.050 Mio t CO₂äqu.

Das THG-Budget berechnet mit dem Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ ist höher als die Budgets, die mit dem Bevölkerungsschlüssel berechnet werden. Dies ergibt sich daraus, dass die aktuellen österreichischen Pro-Kopf-Emissionen höher als die globalen Pro-Kopf-Emissionen sind. Da im Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ die gegenwärtigen nationalen Pro-Kopf-Emissionen als Startpunkt herangezogen werden (die dann bis 2050 zu weltweit gleichen Pro-Kopf-Emissionen „konvergieren“), ergibt sich ein höheres Budget als im Ansatz berechnet mit dem gleichgewichteten Bevölkerungsschlüssel. Die Budgets nach dem Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ unterscheiden sich auch danach, ob im Startwert der Emissionen jene aus der Landnutzung und Änderung der Landnutzung berücksichtigt sind. Die Veränderung der Kohlenstoffsenken durch Landnutzung und Wälder weist in den letzten Dekaden im Falle Österreichs netto eine Kohlenstoff-Bindung durch Biomasseaufbau und Landnutzungsänderungen auf. Wird diese „erleichternde“ Ausgangssituation mit berücksichtigt, benötigt Österreich ein etwas kleineres Treibhausgasbudget für die Zukunft.

Die Berechnung anhand des Bevölkerungsschlüssels bedeutet, dass allen Ländern ab 2017 gleiche kumulierte Pro-Kopf-Emissionen zugestanden werden basierend jeweils auf der Bevölkerungsverteilung im Referenzjahr 2015. Es kann deshalb auch als „sofortige Konvergenz“ bezeichnet werden. Allerdings ergibt sich aus dem Ansatz anhand des Bevölkerungsschlüssels basierend auf einem aktuellen Referenzjahr nicht, dass alle Länder dieselben Pro-Kopf-Emissionen im Jahr 2050 haben werden. Dies könnte nur dann sichergestellt werden, wenn ein „gleitendes“ Referenzjahr bei der Berechnung des Budgets berücksichtigt würde (also nicht eine bereits bekannte derzeitige Bevölkerungsaufteilung für die Zuteilung verwendet wird, sondern die zukünftige Entwicklung der globalen Bevölkerungsverteilung mitberücksichtigt wird). Es wäre auch denkbar, als Referenzjahr einen Durchschnitt der Bevölkerungsanteile 2015-2050 zu nehmen. Da der Anteil Österreichs an der Weltbevölkerung bis 2050 abnehmen wird, würde das bedeuten, dass sich das Emissionsbudget Österreichs auch entsprechend reduzieren würde.

Jedenfalls ermöglicht der Ansatz anhand des Bevölkerungsschlüssels den Entwicklungsländern höhere Emissionen bis 2050 als der Ansatz „Verringerung und Konvergenz“. In gewisser Weise wird er damit auch der Tatsache zumindest eher gerecht, dass primär die Industriestaaten (und damit auch Österreich) Verursacher der Klimawandels sind.

Wenn auch historische Emissionen Österreichs berücksichtigt werden (z.B. jene ab 1990), verringert sich das noch verfügbare Treibhausgas-Budget für Österreich weiter. Diese Verringerung fällt noch stärker aus, wenn als historische Emissionen nicht die innerhalb der Landesgrenzen Österreichs emittierten Emissionen angesetzt werden, sondern die durch die österreichische Endnachfrage insgesamt verursachten Emissionen (egal ob diese im In- oder Ausland entstanden sind; somit Emissionen gemäß der sogenannten konsumbasierten Emissionsbilanzen), weil Österreich seit 1970 in kontinuierlich steigender Weise Netto-Importeur von in Gütern implizit enthaltenen THG-Emissionen ist („embodied emissions“).

Die Emissionen aus Landnutzungsänderungen können im Startwert der Emissionshöhe im Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ berücksichtigt werden, oder nicht – für diesen Ansatz liegt somit ein danach differenziertes Budget vor (vgl. Tabelle 3). Die Zuteilung nach gleichgewichtetem Bevölkerungsschlüssel weist hingegen immer ein Netto-Gesamtbudget zu, ist somit nur inklusive der Emissionen aus Landnutzung und Landnutzungsänderungen (LULUCF) verfügbar.

3 EMISSIONEN IM VERGLEICH

3.1 Wie sehen die historischen Emissionen im Vergleich zum verbleibenden THG-Budget aus?

Das Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC - <http://cdiac.ornl.gov/>)¹⁰ veröffentlicht CO₂-Emissionen für alle Länder der Welt seit dem Beginn der Industrialisierung. Für Österreich liegt eine Zeitreihe von 1807 bis 2013 vor. Die Emissionen umfassen CO₂ aus der Verbrennung fossiler Energieträger, aus der Zementproduktion und aus dem internationalen Flugverkehr. Allerdings weist die Zeitreihe bis 1914 die Emissionen der gesamten Österreichisch-Ungarischen Monarchie aus und nicht nur die des heutigen Österreich. Um eine konsistente Abschätzung für das heutige Österreich ab 1900 zu bekommen, wurde daher eine Anpassung der Emissionsdaten aus CDIAC auf Grundlage von Pallua (2013) vorgenommen. Um auch die Nicht-CO₂-Gase und den Sektor LULUCF zu berücksichtigen wurden die CDIAC-Emissionen mit folgenden Faktoren multipliziert:

- (1) Mit dem Faktor 1,36, was der Relation der gesamten THG-Emissionen im Jahr 1990 zu den CO₂-Emissionen aus CDIAC entspricht;
- (2) Für LULUCF wurde angenommen, dass in der Periode 1950 bis 1989 der Wald eine ebenso große Senke war wie im Jahr 1990. Für die Zeit vor 1950 wurde angenommen, dass der Wald weder Senke noch Quelle von Emissionen war, da sich Zeiten mit starker Holznutzung und Zeiten des Waldaufbaus abwechselten.

Tabelle 4 und Abbildung 2 zeigen die berechneten historischen Emissionen und das verbleibende THG-Budget. Letzteres beträgt für den Zeitraum 2017 bis 2050 nach dem Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ (exkl. LULUCF) die in Tabelle 2 genannten 1.503 Mio t CO₂äqu. (ohne Berücksichtigung des internationalen Luft- und Seeverkehrs im Startwert, beziehungsweise 1.541 Mio t CO₂ äqu. mit Berücksichtigung desselben). Für das Budget nach dem Ansatz der gleichmäßigen Verteilung auf die Weltbevölkerung (und inkl. LULUCF) beträgt das aus Tabelle 2 ersichtliche Budget für 2017 bis 2050 983 Mio t CO₂ äqu.

Demgegenüber zeigt Tabelle 5 in den historischen Emissionen nicht die innerhalb der österreichischen Grenzen emittierten Mengen (produktionsbasierte Emissionen), sondern berichtigt um die in den Gütern im Außenhandel implizit enthaltenen Emissionen (graue Emissionen, Steininger et al., 2017). Sie zeigt somit die historischen THG-Emissionen, die Österreich durch seine Endnachfrage ausgelöst hat (konsumbasierte Emissionen). Ausgehend von den innerhalb der österreichischen Grenzen anfallenden Emissionen berücksichtigt dieser Ansatz zusätzlich die im Ausland durch die Produktion von jenen Gütern entstehenden Emissionen, die letztlich die Endnachfrage in Österreich bedienen (also importiert werden), jedoch vermindert um jene Emissionen, die in Österreich nur aufgrund der Produktion von Gütern entstehen, die sodann exportiert werden. Da Österreich ein Netto-Importeur von grauen Emissionen ist, sind diese historischen Emissionswerte höher als jene in Tabelle 4.

¹⁰ Einen sehr guten Zugang zu den CDIAC Daten (Publikationen, ppts, ...) bieten das Global Carbon Project (<http://www.globalcarbonproject.org/>) sowie dessen Subseite zu Budgets (<http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm>).

Im Fall der Gleichverteilung auf die Bevölkerung ist das für die Zukunft verfügbare Budget davon nicht berührt, das hier ab der Gegenwart (und ohne historische Verantwortung) bestimmt wurde. Es würde sich jedoch bei Berücksichtigung der historischen Emissionen verringern. Im Fall der Ermittlung mittels des Ansatzes „Verringerung und Konvergenz“ hingegen bedingt der nunmehr - konsumbasiert - höhere Startwert der Emissionen in 2017 auch ein höheres Treibhausgasbudget, wenn dieses konsumbasiert definiert ist.

*Tabelle 4: Historische Emissionen (**produktionsbasiert**) und das verbleibende THG-Budget zur Einhaltung der 2°C-Grenze*

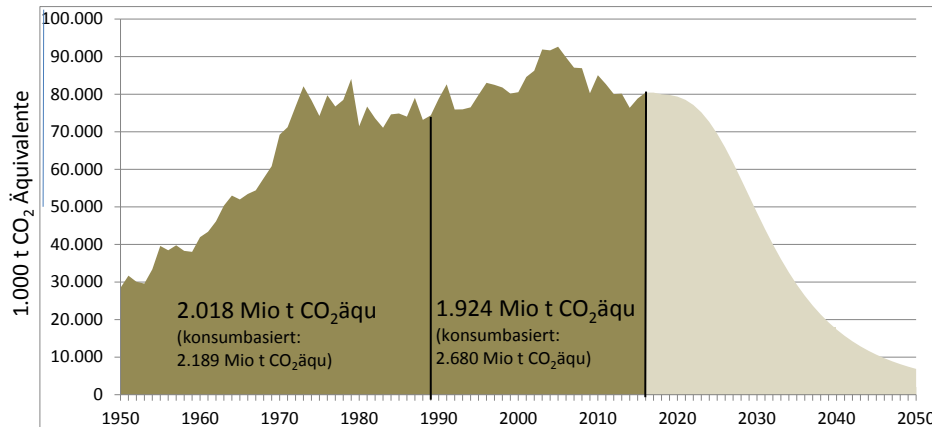
Periode	Jahre	CO ₂ äqu. inkl. LULUCF Mio t	CO ₂ äqu. exkl. LULUCF Mio t
1900-1949	50	997	997
1950-1989	40	2.018	2.374
1990-2015	26	1.924	2.196
Summe 1900-2015	116	4.939	5.567
verbleibendes Budget			
(a) Verringerung und Konvergenz			
basierend auf Startwert mit int. Flug- und Seeverkehr, 2017-2050	34	1.459	1.541
basierend auf Startwert ohne int. Flug- und Seeverkehr, 2017-2050	34	1.421	1.503
(b) gleichverteilt auf die globale Bevölkerung ¹¹			
2017-2050	34	983	

*Tabelle 5: Historische Emissionen (**konsumbasiert**) und das verbleibende THG-Budget zur Einhaltung der 2°C-Grenze*

Periode	Jahre	CO ₂ äqu. inkl. LULUCF Mio t	CO ₂ äqu. exkl. LULUCF Mio t
1950-1989	40	2.189	2.575
1990-2015	26	2.680	3.658
Summe 1950-2015	66	4.869	6.233
verbleibendes Budget			
(a) Verringerung und Konvergenz			
mit int. Flug- und Seeverkehr, 2017-2050	34	2.220	2.302
ohne int. Flug- und Seeverkehr, 2017-2050	34	2.183	2.265
(b) gleichverteilt auf die globale Bevölkerung ⁶			
2017-2050	34	983	

¹¹ Für das Nicht-CO₂-Emissionsbudget bewertet gemäß österreichischem Emissionsschlüssel (CO₂-Non-CO₂)

Abbildung 2: Historische Treibhausgas-Budgets Österreichs seit 1950 (exkl. LULUCF und Emissionen des internationalen Luft- und Seeverkehrs) im Vergleich mit dem noch verfügbaren Budget bis 2050



3.2 Welche Emissionspfade sind mit dem verbleibenden THG-Budget kompatibel?

Um auf globaler Ebene mit dem verbleibenden Treibhausgasbudget auszukommen, wird als Faustregel global eine Halbierung der Emissionen in jeder der kommenden Dekaden als erforderlich erachtet (Rockström et al., 2017): mit dem globalen Emissionspeak spätestens 2020 (und der Trendwende auf sinkende Emissionen ab dann), eine Reduktion zwischen 2020 und 2030 auf die Hälfte, zwischen 2030 und 2040 auf ein Viertel (des Wertes von 2020), und bis 2050 dann auf ein Achtel davon – ein Emissionsbetrag für den unterstellt wird, dass er ab 2050 jährlich aus der Atmosphäre entnommen werden kann, sodass zur Mitte des Jahrhunderts netto Emissionsneutralität erreicht ist.

Für ein Industrieland wie Österreich werden diese Erfordernisse jeweils zeitlich etwas früher erforderlich.

Bisher haben sich bereits 49 Länder zur Kohlenstoffneutralität bis 2050 verpflichtet (darunter europäische Länder wie Norwegen oder Schweden) (Rockström et al., 2017), Österreich hat aktuell nur Ziele für 2020 festgelegt (Klimaschutzgesetz), jedoch noch keine konkreten Ziele über diesen Zeitraum hinaus.

Als Eckpunkte für das Einhalten des verfügbaren Kohlenstoffbudgets werden gesehen (z.B. Rockström et al., 2017):

Bis 2030 gilt es zum einen die Nahrungsmittelversorgung umzugestalten anhand einer weltweit wirksamen Strategie für nachhaltige Lebensmittelversorgung zugunsten gesünderer Menüs mit geringerem Fleischanteil und verringerten Lebensmittelabfällen –

mit substantiellen Zusatznutzen wie Verringerung der Fettleibigkeit und Krankheiten, Emissionsreduktion und Ökosystemerhaltung (Biodiversität).

Die erste Welle smarter und disruptiver Veränderungen soll Platz greifen, von Energieeffizienzmaßnahmen allein wird in vielen Bereichen (Haushalte, Industrie) eine Emissionsreduktion bis zu 50% erwartet. Im Verkehrsbereich kann das Beispiel Norwegens, Deutschlands und der Niederlande Schule machen, die ein Auslaufen der Zulassung von Verbrennungskraftmotoren in Fahrzeugen bis jedenfalls 2030 beschlossen haben. Auch der Übergang zu treibhausgasfreiem Fernverkehr ist zentral, durch erneuerbare Treibstoffe, Elektrifizierung und Substitution von Kurzstreckenflügen durch Intercity-Bahnverbindungen.

Bis 2040 wird erwartet, dass Öl aus dem Energiemix weltweit verdrängt wird, auch im Flugverkehr soll die vollständige Umstellung auf treibhausgasneutrale Treibstoffe abgeschlossen sein. Synthetische Treibstoffe, Bio-Methan und Wasserstoff sind bis dahin etablierte Alternativen. Im Jahrzehnt ab 2030 sind alle Gebäude mit treibhausgasneutralen (oder –negativen) Baustoffen errichtet, der Bausektor setzt entweder emissionsfreien Zement und Stahl ein, oder ersetzt diese Materialien mit Null- oder negativ-Emissionsbaustoffen wie Holz, Stein oder Karbonfaser.

In der letzten Dekade der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts kann bereits aus den Lernerfahrungen aus Erfolgen und Fehlschlägen früherer Versuche gelernt werden, können die Strategien dementsprechend überarbeitet werden, verworfen bzw. verstärkt oder modifiziert werden. Von den europäischen Ländern wird erwartet, dass sie ihre Treibhausgasneutralität im Wesentlichen in den frühen 2040er Jahren erreichen.

Bis 2050 sind weltweit netto Nullemissionen von CO₂ erreicht, bei einer globalen Wirtschaft, die auf kohlenstofffreier Energie basiert, und ernährt wird aus kohlenstoffbindender nachhaltiger Landwirtschaft.

4 LITERATUR

CDIAC: *Carbon Dioxide Information Analysis Center* <http://cdiac.ornl.gov/>; zusammengestellt im Global Carbon Project <http://www.globalcarbonproject.org/> und dessen Seite zu Budgets <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm>

Heyd (2017): *Climate Ethics, Affirmative Action, and Unjust Enrichment*. In: Meyer and Sanklecha (Hg.): *Climate Justice and Historical Emissions*, Cambridge. Cambridge University Press, 22-45.

IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Geneva, Switzerland

Jacob, Daniela et al (2013): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change*. doi:10.1007/s10113-013-0499-2

Jonas, M. and P. Zebrowsky (2016): *Uncertainty in an Emissions Constrained World: Method Overview and Data Revision*, IIASA Working Paper, WP 16-009, IIASA, Laxenburg

Köppl, Angela, Claudia Kettner-Marx, Stefan Schleicher, Christian Hofer, Katharina Köberl, Jürgen Schneider, Ilse Schindler, Thomas Krutzler, Thomas Gallauner, Gabriel Bachner, Thomas Schinko, Karl W. Steininger, Matthias Jonas, Piotr Zebrowsky (2016): *Modelling Low Energy and Low Carbon Transformations, The ClimTrans2050 Research Plan*, Austrian Institute of Economic Research (WIFO), Vienna, July 2016

Kopetz, Heinz (2016): *Paris – Wie weiter? Energie- und Klimakonzepte für Österreich*, Verlag DTW Zukunfts PR

Kolstad; Urama; Broome; Bruvoll; Fullerton; Gollier, Hahnemann; Hassan; Jotzo; Khan; Meyer; Mundaca; Olvera (2015): *Social, Economic, and Ethical Concepts and Methods*. In: Ottmar Edenhofer et al. (Hg.): *Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York. Cambridge University Press: 207 - 282

Meyer, Lukas (2013): *Why Historical Emissions Should Count*. In: *Chicago Journal of International Law*. 13,2. 2013. 598 - 614.

Millar, Richard J., Jan S. Fuglestedt, Pierre Friedlingstein, Joeri Rogelj, Michael J. Grubb, H. Damon Matthews, Ragnhild B. Skeie, Piers M. Forster, David J. Frame & Myles R. Allen et al. (2017): *Emission budgets and pathways consistent with limiting warming to 1.5 °C*, *Nature Geoscience*, Online 18 September 2017. doi:10.1038/ngeo3031

Page (2012): *Give it up for climate change: a defence of the beneficiary pays principle*, *International Theory* 4:2, 300–330 & Cambridge University Press, 2012; doi:10.1017/S175297191200005X

Pallua (2013): *Historische Energietransitionen im Ländervergleich. Energienutzung, Bevölkerung, Wirtschaftliche Entwicklung*. Social Ecology Working Paper 148. Vienna, Dezember 2013

Rockstroem, Johan, Owen Gaffney, Joeri Rogelj, Malte Meinshausen, Nebojsa Nakicenovic, Hans Joachim Schellnhuber (2017): *A roadmap for rapid decarbonization: Emissions inevitably approach zero with a “carbon law”*, *Science* 355: Issue 6331 (March 17, 2017): 1269-1271.

Steininger, Karl W., Martin König, Birgit Bednar-Friedl, Lukas Kranzl, Wolfgang Looibl, und Franz Pretenthaler (eds.) (2015): *Economic Evaluation of Climate Change Impacts. Development of a Cross-Sectoral framework and Results for Austria*. Springer, 2015. 468 pp.

Steininger, Karl W., Birgit Bednar-Friedl, Herbert Formayer, Martin König (2016): Consistent economic cross-sectoral climate change impact scenario analysis: method and application to Austria, *Climate Services* 1: 39-52; doi: 10.1016/j.cliser.2016.02.003

Steininger, K. W., Munoz, P., Karstensen, J., Peters, G., Strohmaier, R., Velázquez, E. (2017): *Austria's Consumption-Based Emissions: Identifying sectoral origins and destinations*, under review

UNFCCC (2015): Paris Agreement. Annex to the Adoption of the Paris Agreement, Decision CP.21, United Nations Framework Convention on Climate Change, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1.

UN General Assembly (2015): *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, UN, New York. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015.

WBGU (2009): *Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz*, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. Sondergutachten, Berlin

Zum Inhalt:

Mit den Sustainable Development Goals (UN 2015) setzt die Weltgemeinschaft die Stabilisierung des Klimas als Ziel gleichrangig zu jenen der ökonomischen Entwicklung, der Menschenrechte, der Demokratie und des Friedens - die Erreichung dieser Ziele interagiert zunehmend, nur in ihrer Gesamtheit können sie die Stabilität und Robustheit unserer Gesellschaften und des Natursystems gewährleisten.

Im Hinblick auf das Klima ist im Pariser Abkommen (ebenfalls 2015) das Ziel verankert, den globalen Temperaturanstieg auf unter 2°C, wenn möglich auf unter 1,5°C, zu beschränken. Bedingt durch die lange Verweildauer von Treibhausgasen in der Atmosphäre (CO₂ z.B. mehrere Hundert Jahre), ist der Effekt der kumulierten Emissionen über eine Zeitspanne von Bedeutung. Zur Sichtbarmachung dieses kumulierten Effekts eignet sich das Konzept des Treibhausgasbudgets. Das Treibhausgasbudget ist jene Menge der Treibhausgas-Emissionen aus anthropogenen Quellen, die seit Beginn der Industrialisierung freigesetzt wurde bzw. noch freigesetzt werden kann, um eine Temperaturerhöhung über 2 °C bzw. über 1,5 °C mit einer Wahrscheinlichkeit von zumindest zwei Drittel zu vermeiden.

Im vorliegenden Bericht werden die Möglichkeiten dieses global verfügbare Budget einzelnen Ländern zuzuteilen gegenübergestellt, für Österreich angewandt und werden die für Österreich ermittelten Budgets in Bezug gesetzt zu den historischen und aktuellen jährlichen Emissionsniveaus.