

Das Treibhausgasbudget für die Stadt Graz

Die aktuell der Stadt Graz zuzurechnenden
Treibhausgas-Emissionen als Basis für
sowohl Mitigationen als auch die
Zurechnung des Carbon Budgets
für Graz

Christian Pichler, Karl W. Steininger

November 2019

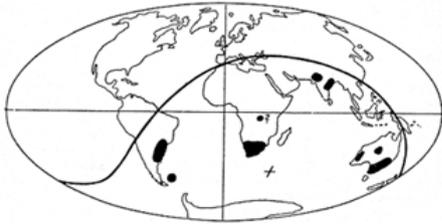


Mit Unterstützung von



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)

Der vorliegende Bericht wurde auf Basis einer im November 2019 fertiggestellten Masterarbeit erstellt. Die Arbeit wurde durch das Umweltamt Graz unterstützt.



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

© 2019 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 978-3-9504717-3-1

November 2019

Kontakt:

Karl W. Steininger, karl.steininger@uni-graz.at

Christian Pichler, chri.pichler@edu.uni-graz.at

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

Inhaltsverzeichnis

1.	KURZFASSUNG	1
2.	ALLGEMEINES	5
2.1	PRINZIPIEN DER TREIBHAUSGASBILANZIERUNG UND -BUDGETIERUNG	5
2.2	BILANZIERUNGSPERSPEKTIVEN	7
2.3	RÄUMLICHE UND ZEITLICHE ABGRENZUNG	10
2.4	ERFASSTE TREIBHAUSGASE UND TREIBHAUSPOTENZIALE	12
3.	PRODUKTIONSBASIERTE TREIBHAUSGASBILANZIERUNG GRAZ 2015	15
3.1	ABFALL UND ABWASSER.....	15
3.1.1	<i>Daten, Methodik und erste Ergebnisse im Bereich Abfall und Abwasser</i>	16
3.1.2	<i>Emissionen des Bereiches Abfall- und Abwasser</i>	23
3.2	HAUSBRAND, INDUSTRIE UND GEWERBE	24
3.2.1	<i>Hausbrand, Industrie und Gewerbe: Daten und Methodik</i>	25
3.2.2	<i>Emissionen der Bereiche Hausbrand und Industrie und Gewerbe</i>	30
3.3	VERKEHR.....	33
3.3.1	<i>Daten und Methodik im Bereich Verkehr</i>	34
3.3.2	<i>Emissionen des Verkehrs</i>	36
3.4	PRODUKTIONSBASIERTE TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER STADT GRAZ 2015	38
4.	KONSUMBASIERTE TREIBHAUSGASBILANZIERUNG GRAZ 2015	41
4.1	DATENLAGE, DATENANPASSUNG UND BILANZIERUNGSMETHODIK	41
4.2	KONSUMBASIERTE TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER STADT GRAZ 2015	46
5.	TREIBHAUSGASBUDGETIERUNG	48
5.1	DAS GLOBALE TREIBHAUSGASBUDGET	48
5.2	BERECHNUNG STÄDTISCHER TREIBHAUSGASBUDGETS.....	51
5.2.1	<i>Ansatz Verringerung und Konvergenz</i>	51
5.2.2	<i>Ansatz Gleichverteilung pro Kopf</i>	55
5.3	TREIBHAUSGASBUDGETS FÜR DIE STADT GRAZ.....	57
6.	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	61
7.	LITERATURVERZEICHNIS	71
8.	ANHANG	78

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: TREIBHAUSPOTENZIALE UNTERSCHIEDLICHER TREIBHAUSGASE	13
TABELLE 2: BETRACHTETE TREIBHAUSGASE	14
TABELLE 3: LISTE NICHT BERÜCKSICHTIGTER ABFÄLLE	17
TABELLE 4: BERÜCKSICHTIGTE ABFÄLLE UND DEREN VERWERTUNG	18
TABELLE 5: EMISSIONEN AUS DER KOMPOSTIERUNG BIOLOGISCHER ABFÄLLE	19
TABELLE 6: EMISSIONEN DER THERMISCHEN ABFALLVERWERTUNG.....	20
TABELLE 7: ABBAUBARER, ORGANISCHER KOHLENSTOFF (AOK)	21
TABELLE 8: METHANGENERIERUNGSPOTENTIAL	22
TABELLE 9: METHAN COMMITMENT METHODE	22
TABELLE 10: EMISSIONEN DER ABWASSERBEHANDLUNG.....	23
TABELLE 11: TREIBHAUSGASEMISSIONEN DES BEREICHS ABFALL- UND ABWASSERENTSORGUNG.....	24
TABELLE 12: RAUMWÄRMEBEDARF JE WOHN EINHEIT	25
TABELLE 13: RELEVANTER GESAMTWÄRMEBEDARF NACH ENERGIE TRÄGER FÜR THG-BILANZIERUNG.....	27
TABELLE 14: EMISSIONSFAKTOREN FÜR ENERGIE TRÄGER	27
TABELLE 15: WIRTSCHAFTSKLASSEN UND DEREN JEWEILS BESCHÄFTIGTE IN GRAZ.....	29
TABELLE 16: MITARBEITERINNEN BASIERTE EMISSIONSFAKTOREN	30
TABELLE 17: TREIBHAUSGASEMISSIONEN DES BEREICHS HAUSBRAND.....	31
TABELLE 18: TREIBHAUSGASEMISSIONEN DES BEREICHS INDUSTRIE UND GEWERBE.....	32
TABELLE 19: ZEITLICHE GEGENÜBERSTELLUNG DER THG-EMISSIONEN DER BEREICHE HAUSBRAND, INDUSTRIE UND GEWERBE.....	33
TABELLE 20: HOCHRECHNUNG DER VERKEHRSLEISTUNGEN AUF EIN JAHR.....	35
TABELLE 21: VERKEHRSLEISTUNG 2016 IN FAHRZEUGKILOMETERN	35
TABELLE 22: EMISSIONSFAKTOREN 2016 FÜR UNTERSCHIEDLICHE FAHRZEUGKLASSEN	36
TABELLE 23: TREIBHAUSGASEMISSIONEN DES VERKEHRS 2016.....	36
TABELLE 24: ZEITLICHE GEGENÜBERSTELLUNG DER FAHRLEISTUNG	37
TABELLE 25: ZEITLICHE GEGENÜBERSTELLUNG DER CO ₂ -EMISSIONEN DES VERKEHRS.....	37
TABELLE 26: ZEITLICHE GEGENÜBERSTELLUNG DER CH ₄ -EMISSIONEN DES VERKEHRS.....	37
TABELLE 27: ZEITLICHER GEGENÜBERSTELLUNG VON DATEN DER GRAZER STRAßENBAHN	38
TABELLE 28: THG-EMISSIONEN 2015 PRODUKTIONSSEITIG BILANZIERT	39
TABELLE 29: GEGENÜBERSTELLUNG DER PRODUKTIONSBASIERTE N EMISSIONEN IN GRAZ 1995, 2001 UND 2015	40
TABELLE 30: GEGENÜBERSTELLUNG DER PRODUKTIONSBASIERTE N THG-EMISSIONEN 2015 FÜR AUSGEWÄHLTE REGIONEN.....	40
TABELLE 31: WECHSELKURS GEMÄß ATLAS-METHODE.....	42
TABELLE 32: EMISSIONSFAKTOREN FÜR KONSUMAUSGABEN	43
TABELLE 33: ENDNACHFRAGE DER PRIVATEN UND ÖFFENTLICHEN HAUSHALTE SOWIE DER UNTERNEHMEN IN GRAZ	44
TABELLE 34: CO ₂ ÄQU-EMISSIONEN 2015 KONSUMSEITIG BILANZIERT	47
TABELLE 35: 2 °C-ZIEL KONFORME, GLOBALE TREIBHAUSGASBUDGETS.....	50
TABELLE 36: BUDGET NACH ANSATZ VERRINGERUNG UND KONVERGENZ (NACH PRO-KOPF-EMISSIONEN, PRODUKTIONSBASIERT) ...	53
TABELLE 37: BUDGET NACH ANSATZ VERRINGERUNG UND KONVERGENZ (NACH GESAMTEMISSIONEN, PRODUKTIONSBASIERT).....	53

TABELLE 38: BUDGET NACH ANSATZ VERRINGERUNG UND KONVERGENZ (NACH PRO-KOPF-EMISSIONEN, KONSUMBASIERT).....	54
TABELLE 39: BUDGET NACH ANSATZ VERRINGERUNG UND KONVERGENZ (NACH GESAMTEMISSIONEN, KONSUMBASIERT).....	55
TABELLE 40: BUDGETBERECHNUNG NACH ANSATZ GLEICHVERTEILUNG PRO KOPF	56
TABELLE 41: BUDGETBERECHNUNG NACH ANSATZ GLEICHVERTEILUNG AUF KUMULIERTE BEVÖLKERUNG.....	57
TABELLE 42: 2 °C-ZIEL KONFORME TREIBHAUSGASBUDGETS FÜR GRAZ 2016-2050	58
TABELLE 43: ÜBERBLICK ÜBER PRODUKTIONSSEITIGE BILANZIERUNG FÜR GRAZ 2015	64
TABELLE 44: ÜBERBLICK ÜBER DIE KONSUMSEITIGE BILANZIERUNG FÜR GRAZ 2015	66
TABELLE 45: TREIBHAUSGASBUDGET DER STADT GRAZ, SOWIE ERFORDERLICHE (DURCHSCHNITTLICHE) JÄHRLICHE EMISSIONSREDUKTION UM MIT DIESEM BUDGET AUSZUKOMMEN	68
TABELLE 46: INDUSTRIE- UND GEWERBEBEREICHEKLASSIFIZIERUNG	78
TABELLE 47: NACE-GTAP-KORRESPONDENZ	79
TABELLE 48: GTAP-INNOVATE-KORRESPONDENZ.....	81
TABELLE 49: PROGNOSTIZIERTE BEVÖLKERUNGSENTWICKLUNG WELT UND GRAZ 2016-2050.....	82

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: VENN-DIAGRAMM ZUR VERANSCHAULICHUNG DER THG-BILANZIERUNGSPERSPEKTIVEN.....	10
ABBILDUNG 2: GEOGRAFISCHE LAGE DER STADT GRAZ.....	11
ABBILDUNG 3: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG VON STÄDTISCHEN THG-EMISSIONEN IN SCOPE 1, 2 UND 3	15
ABBILDUNG 4: ANTEILE ENERGIETRÄGER AM ENDENERGIEEINSATZ FÜR RAUMWÄRME, WARMWASSER UND KOCHEN	26
ABBILDUNG 5: DATENGEWINNUNG UND -ANPASSUNGEN BEI DER KONSUMBASIERTEN BILANZIERUNG	46
ABBILDUNG 6: GLOBALE THG-EMISSIONEN 1870-2015 GEGENÜBER DEM GLOBALEN THG-BUDGET 2016-2050	50
ABBILDUNG 7: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES ANSATZES VERRINGERUNG UND KONVERGENZ	52

Abkürzungsverzeichnis

AOK	Abbaubarer, organischer Kohlenstoff
AOK _F	Tatsächlich abgebauter, organischer Kohlenstoff
BIP	Bruttoinlandsprodukt
C	Kohlenstoff
CCS	Carbon Capture and Storage
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ äqu	Kohlendioxidäquivalent
COICOP	Classification of Individual Consumption by Purpose
CPA	Classification of Products by Activity
EUR	Euro
F	Methananteil im Deponiegas
f _{rec}	Methan aus Deponien, welches energetisch verwertet wird
Fzg	Fahrzeug
GPC	Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventory
GTAP	Global Trade Analysis Project
GWh	Gigawattstunde
GWP	Global Warming Potential
INNOVATE	Innovative Climate Policy Instruments to Reduce Consumption-Based Emissions
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
km	Kilometer
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LKW	Lastkraftwagen
L _o	Methangenerierungspotential
N ₂ O	Lachgas
OX	Oxidationsfaktor
Pkm	Personenkilometer
PKW	Personenkraftwagen
SDR	Special Drawing Right
THG	Treibhausgas
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
USD	US Dollar
VPI	Verbraucherpreisindex, Verbraucherpreisindex
Wagenkm	Wagenkilometer
WIBIS	Wirtschaftspolitisches Berichts- und Informationssystem

1. Kurzfassung

Im Pariser Klimaabkommen (unterzeichnet im Dezember 2015, ratifiziert im österreichischen Nationalrat im Juli 2016), hat sich die Weltgemeinschaft verpflichtet, ein Klimafenster abzusichern, in dem unser Planet für die Menschheit lebenswert bleibt. Der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur soll bei höchstens 2 Grad (gegenüber vorindustriell), möglichst jedoch bei nicht mehr als 1,5 Grad begrenzt werden. Dieses Ziel lässt sich physikalisch umrechnen in eine Menge an Treibhausgasen, die die Menschheit über alle Zukunft noch maximal in die Atmosphäre entlassen darf. Hat man diesen globalen Wert abgeleitet, so kann dieser Wert nun über unterschiedliche Ansätze auf Länder bzw. kommunale Einheiten darin heruntergebrochen werden.

Zwei naheliegende Methoden, die in dieser Studie als Ankerpunkte verwendet werden, sind:

- (a) das global verfügbare Treibhausgasbudget wird gleichmäßig auf alle heute lebenden Menschen aufgeteilt, und jeder Staat (bzw. jede Kommune) bekommt den seiner aktuellen Bevölkerungszahl entsprechenden Anteil daran zugesprochenen.
- (b) es könnte auch argumentiert werden, dass das Absenken der Treibhausgasemissionen keine einfache Sache ist, und man daher nicht von heute weg schon globale Gleichverteilung pro Kopf implementiert, sondern es allen Ländern gestattet, sich erst über die Zeit, bis zu einem in der Zukunft definierten Zeitpunkt auf einen global einheitlichen, und erst dann gleichen Pro-Kopf-Emissionswert hinzubewegen. Länder (oder Kommunen) mit heute über dem globalen Pro-Kopf-Schnitt liegenden Emissionen wird unter einem solchen Ansatz ein größeres Budget zugesprochen, anderen ein kleineres.

Der Wert, der innerhalb beider Ansätze abgeleitet wird, ist dabei für ein Industrieland wie Österreich jedenfalls ein „maximalst“ mögliches Budget, eine obere Grenze – weil viele Gründe angeführt werden können, die für ein geringeres Budget sprechen: historisch wurden in solchen Ländern bereits viel höhere Emissionen ausgestoßen (wodurch sie ihr Budget schon stärker ausgeschöpft haben), in diesen Ländern bestehen viel höhere Kapazitäten (Technologie, Bildung, Wohlstand) zur Emissionssenkung, sowie ist eine in viel höherem Ausmaß aufgebaute Infrastruktur verfügbar, die bereits in der Vergangenheit – auch durch Nutzung der Atmosphäre als Senke für mit diesem Aufbau verbundene Treibhausgasemissionen – aufgebaute wurde, und die auch heute noch genutzt wird.

In der vorliegenden Studie wird dennoch mit diesen beiden Maximal-Ansätzen gearbeitet, zum einen in der Version „Gleichverteilung von heute an“, dies ist die verwendete Hauptvariante, zum anderen zur Illustration wie ein Ergebnis aussehen würde mit der maximalst möglichen

Zuteilung an ein Land wie Österreich (oder eine Stadt in diesem Land) in der Variante „Verringerung und Konvergenz“, wobei in letzterer der Konvergenzzeitpunkt (also der Zeitpunkt ab dem alle Länder gleiche Pro-Kopf-Emissionen aufweisen), erst auf das Jahr 2050 gelegt wird, also diese Variante auch in dieser Hinsicht eine Maximal-Version des Budgets ergibt.

Als zweite konzeptionelle Frage gilt es zu klären, wie viele (und damit welche) Treibhausgasemissionen einer Kommune wie Graz zuzurechnen sind. Daraus ergibt sich dann auch erst, welcher Betrag des Treibhausgasbudgets pro Jahr verbraucht wird, oder in anderen Worten: wie starke Anstrengungen unternommen werden müssen, um bis zur Mitte des Jahrhunderts wirklich mit allein dem noch der Stadt Graz zugeordneten Budget auszukommen. Auch hier gibt es zwei mögliche Ansätze, die die internationale Diskussion dominieren:

- (a) Im produktionsbasierten Ansatz der Bilanzierung werden die Emissionen jenem Akteur/jener Akteurin zugerechnet, bei dem die Emissionen physikalisch anfallen, d.h. z.B. dem Betrieb, der zur Produktion von Gütern Erdöl verbrennt. Die Emissionen werden damit auch dem Ort zugerechnet, an dem diese Emissionen anfallen. Dementsprechend werden der Stadt Graz alle Emissionen zugerechnet, die innerhalb der geografischen Grenzen der Stadt anfallen, also z.B. von Betrieben und Haushalten in der Stadt Graz emittiert werden.
- (b) Im konsumbasierten Ansatz der Bilanzierung werden die Emissionen jenem Akteur/jener Akteurin zugerechnet bzw. angelastet, dessen/deren Endnachfrage das emissionsintensive Gut umfasst, egal an welchem Ort auf diesem Planeten (und damit egal wo in der Vorkette der Produktion und ihrer Wertschöpfungskette) die durch die Produktion des Gutes verursachten Treibhausgasemission physikalisch angefallen sind, d.h. z.B. dem Haushalt in Graz, der ein Mobiltelefon kauft, werden alle Emissionen angelastet, die in der Produktion dieses Telefons entstanden sind, wie jene der mit dem eingesetzten Strom in China verbundenen Emissionen, jene im Transport auf dem Weg von dort nach Österreich, aber auch jene des österreichischen Händlers, bei dem das Produkt letztlich gekauft wurde.

In der vorliegenden Studie wurden für die produktionsbasierte Bilanzierung erstmals auch die Treibhausgasemissionen aus Abfall und Abwasser einbezogen. Für die Stadt Graz wurde für das Jahr 2015 ein Wert von 1.170.210 t CO₂äqu an Treibhausgasemissionen ermittelt, dies entspricht einer Emission von 4,1 t CO₂äqu pro Kopf und Jahr. Erstmals wurde für die Stadt Graz auch ein konsumseitiger Treibhausgasemissionswert erhoben. Hierfür liegen aus der Österreichischen Konsumerhebung keine allein für Graz spezifischen Daten vor, wohl aber jene für Städte Österreichs (außer Wien) mit mehr als 100.000 Einwohnern, somit also ein

Wert, der die Städte Graz, Linz, Salzburg und Innsbruck beschreibt. Mit diesem über diese Städte durchschnittlichen Konsummuster, sowie den sektoralen konsumseitigen Treibhausgasintensitäten im österreichweiten Schnitt ließen sich die konsumseitig bilanzierten Treibhausgasemissionen der Stadt Graz ermitteln: es waren dies im Jahr 2015 2.770.727 t CO₂äqu, was einem Wert von rund 9,66 t CO₂äqu pro Kopf entspricht.

Nun können beide Grundlagen zusammengeführt werden. Wird das Treibhausgasbudget nach – ab sofort – globaler Gleichverteilung der Stadt Graz zugeteilt, so steht der Stadt Graz ein Budget von rund 42,7 Mio t CO₂äqu zur Verfügung. Wenn in dieser Berechnung auch berücksichtigt wird, dass die Bevölkerungsprognose für Graz ein Wachstum aufweist, das ganz leicht über dem Wachstum der Weltbevölkerung liegt, so erhöht sich das Budget marginal auf 42,8 Mio t CO₂äqu. Will die Stadt Graz ihren Verbrauch bis zur Mitte des Jahrhunderts nun innerhalb dieses Budgets halten, so muss sie ihre konsumseitigen Emissionen um 5,6% pro Jahr absenken. Dies entspricht einer Reduktion der THG-Emissionen pro Kopf in Höhe von durchschnittlich 255 kg CO₂äqu pro Person und Jahr, sowie in absolutem Betrag für die Stadt Graz insgesamt durchschnittlich über 70.000 t CO₂äqu pro Jahr.

In der Wahl der Zuteilungsmethode des globalen Treibhausgasbudgets auf ein regionales nach dem Ansatz „Gleichverteilung pro Kopf der Weltbevölkerung“ werden wie erwähnt Industrieländer wie Österreich bereits insofern großzügig behandelt, als weder historisch höhere Emissionen dieser Länder als Budget-reduzierend eingehen, noch die aus der Nutzung der Infrastruktur erzielten Vorteile, die unter Emissionsausstoß aufgebaut wurde. Beide letztgenannten Argumente könnte man ins Treffen führen, um das Treibhausgasbudget eines Landes wie Österreich (oder einer darin befindlichen Stadt wie Graz) geringer ausfallen zu lassen, hat doch Österreich (Graz) damit bereits in der Vergangenheit schon seinen Anteil an der Aufnahmekapazität der Atmosphäre für Treibhausgase überproportional genutzt, und profitiert noch immer von der damit erstellten Infrastruktur.

Wird hingegen nicht nur dieser Argumentation zur Verringerung des verfügbaren Treibhausgasbudgets nicht Folge geleistet, sondern werden ganz im Gegenteil sogar Argumente bemüht, Österreich (und damit auch der Stadt Graz) ein sogar größeres Treibhausgasbudget zuzuteilen, so geschieht dies insbesondere über den Ansatz „Verringerung und Konvergenz“. Hierbei wird argumentiert, dass aktuelle Hoch-Emittenten einfach nicht so schnell ihre Emissionen reduzieren können, und daher der Zeitpunkt ab dem die THG-Emissionen pro Kopf global gleichsein sollen, nicht sofort ist, sondern erst in der Zukunft liegt, und bis dahin gegenwärtige Hoch-Emittenten noch höhere Emissionen ermöglicht werden. Im Extremum wird dieser zukünftige Zeitpunkt der globalen Pro-Kopf-

Gleichverteilung erst auf das Jahr 2050 gesetzt. Folgt man diesem – aus globalen Fairnessüberlegungen wohl nicht zulässigen Argument – in dieser Extremvariante, so zeigt sich, dass selbst darin die langfristigen Reduktionserfordernisse ident bleiben. Die durchschnittliche Reduktionsraten der Pro-Kopf-Emissionen bleibt bei 255 kg CO₂äqu pro Person und Jahr, allein der Stadt wird eine längere Übergangszeit gewährt, sie kann diese gleiche durchschnittliche Reduktion auch über geringere absolute Reduktionen zu Beginn erreichen.

Wird der, für Hoch-Emittenten großzügigere Ansatz der „Verringerung und Konvergenz“ gewählt, so kann innerhalb dieses noch einmal unterschieden werden: wählt man als Start- und Ausgangswert des Emissionsniveaus das produktionsbilanzierte Niveau, so beträgt das Budget 27 Mio t CO₂äqu. Wird dabei auch das in Graz über dem Weltdurchschnitt liegende Bevölkerungswachstum berücksichtigt, so steigt das Budget auf 28,7 Mio t CO₂äqu an. Beide Werte sind viel geringer als jener nach dem vorigen – weltweit gleichverteilten - Ansatz abgeleitete, weil die produktionsbasierten Emissionen von Städten allgemein signifikant unter denen des nicht-urbanen Raums liegen, also bei einem „Verringerung und Konvergenz“-Ansatz auch der Großteil des Budgets den nicht-urbanen Räumen zugesprochen wird, das Budget für Städte somit kleiner ausfällt. Umgekehrt „verbraucht“ eine Stadt dann auch jedes Jahr nur einen verhältnismäßig kleinen Anteil dieses Budgets (wenn es eben produktionsseitig bilanziert wird). Die erforderliche Reduktion, will Graz innerhalb dieses Budgets bleiben, bei Zurechnung lediglich der produktionsbilanzierten Emissionen, beträgt (durchschnittlich) 23.523 t CO₂äqu pro Jahr, oder in Pro-Kopf-Werten (durchschnittlich) 90 kg CO₂äqu pro Kopf und Jahr .

Wird hingegen im „Verringerung und Konvergenz“-Ansatz der viel höhere konsumbilanzierte Emissionswert als Ausgangs- und Startwert herangezogen, so ist zwar zum einen das Budget wesentlich höher, 55 Mio t CO₂äqu (bzw., wenn zudem auch die stärker wachsende Bevölkerung berücksichtigt wird, 59,5 Mio t CO₂äqu), aber auch der jährlich davon verbrauchte Anteil. Für einen Verbleib innerhalb dieses Budgets ist dann – wenn die Emissionen hier konsumseitig bilanziert werden – eine Reduktion pro Jahr um – in durchschnittlicher Betrachtung ebenso hohen wie im Gleichverteilungs-Budgetansatz 70.600 t CO₂äqu pro Jahr (bzw. 255 kg CO₂äqu pro Kopf und Jahr) erforderlich, die Stadt kann unter einem solch höheren Budget diese über den Zeitraum 2016-2050 durchschnittlich idente Reduktion allerdings nun auch über geringere absolute Reduktionen zu Beginn (und gegengleich höhere absolute Reduktionen im späteren Verlauf) erreichen.

2. Allgemeines

Städte spüren zunehmend den Bedarf (oft auch Druck) klimapolitische Maßnahmen zu setzen und umzusetzen. Einerseits kommt politischer Druck „von oben“ durch den Abschluss nationaler und internationaler Klimaschutzabkommen (z.B. Pariser Abkommen zur Beschränkung der globalen Temperaturerhöhung auf unter 2 Grad), andererseits kommt politischer Druck „von unten“ durch NGOs, aus der Bevölkerung (z.B. Fridays for Future) und Menschen, betroffen von Unwetterkatastrophen, welche den Klimawandel für ihr Leid verantwortlich machen. Dieser Druck wird noch durch die Tatsache verstärkt, dass Städte weltweit bereits mehr als die Hälfte aller Menschen beherbergen und für rund drei Viertel des globalen Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen verantwortlich sind (Mi et al. 2019).

Aber Städte sind nicht nur Verursacher des Klimaproblems, sie sind Zentren der Innovation und des Wohlstandes, und verfügen daher über die notwendigen Ressourcen um den Herausforderungen des Klimawandels Herr zu werden (Mi et al. 2019). Jedoch können sinnvolle Maßnahmen nur dann gesetzt und Ressourcen sinnvoll eingesetzt werden, wenn (a) die aktuelle Situation („Wo stehen wir?“) und (b) konkrete Ziele („Wohin wollen wir?“) bekannt sind. Diese Motivation liegt auch der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit zugrunde. Es gilt (a) eine Treibhausgasbilanz und (b) ein Treibhausgasbudget für die Kommune Graz zu ermitteln.

2.1 Prinzipien der Treibhausgasbilanzierung und -budgetierung

Mehrere Richtlinien zur kommunalen Treibhausgasbilanzierung wie das „Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventory (GPC)“ (Fong et al. 2014) oder das „PAS2070 – Specification for the Assessment of Greenhouse Gas Emissions of a City“ (British Standards Institute 2013) wurden in den letzten Jahren entwickelt. Allen gemeinsam ist, dass sie folgende Mindestansprüche an die Bilanzierung und Berichterstattung stellen, welchen auch die Treibhausgasbilanzen in diesem Bericht genügen sollen:

Sachdienlichkeit: Die ausgewiesenen Treibhausgasemissionen sollen eindeutig auf Aktivitäten bzw. Konsummuster der Stadt zurückführbar sein. Die Treibhausgasinventur soll den städtischen Entscheidungsträgern und Entscheidungsträgerinnen als Basis für Entscheidungen dienen und dabei lokalen, nationalen und internationalen Gesetzen und Empfehlungen genügen.

Vollständigkeit: Städte sollen alle relevanten Emissionsquellen in der Bilanzierung berücksichtigen. Die Nicht-Berücksichtigung von Emissionsquellen soll ausführlich und klar begründet werden.

Konsistenz: Emissionsberechnungen sollen im Rahmen von Systemgrenzen erfolgen und in sich widerspruchsfrei sein. Einheitliche Methoden der Emissionsberechnung erlauben es zeitliche Veränderungen zu analysieren, Trends zu identifizieren und Vergleiche mit anderen Städten durchzuführen.

Transparenz: Aktivitätsdaten, Emissionsquellen, Emissionsfaktoren sowie Bilanzierungsmethoden sind angemessen zu dokumentieren und Personen außerhalb des Bilanzierungsprozesses sollen hinreichenden Zugang zu den Daten erhalten, sodass eine Überprüfung der Ergebnisse möglich ist.

Genauigkeit: Die Treibhausgasbilanz soll die aktuellen Treibhausgasemissionen nicht systematisch über- oder unterschätzen. Politische Entscheidungsträger und Entscheidungsträgerinnen sowie die Öffentlichkeit sollen auf die im Bericht angegebenen Informationen vertrauen können. Unsicherheiten im Quantifizierungsprozess sollen auf ein Minimum reduziert werden.

Während eine Treibhausgasbilanz den gegenwärtigen Emissionsausstoß innerhalb eines spezifizierten Gebiets innerhalb eines Zeitraums (meist: eines Jahres) darstellt (IST-Zustand), macht ein Treibhausgasbudget den Effekt anthropogener Emissionen, kumuliert über einen Zeitraum, auf das Klima sichtbar (für einen zukünftigen Zeitraum ist damit ein SOLL-Zustand abbildbar). Die Einhaltung eines städtischen Treibhausgasbudgets in einer in der Zukunft liegenden Periode beeinflusst nicht nur die wirtschaftliche Entwicklung einer Stadt und die Verhaltensmuster ihrer Akteure, sondern legt auch fest wieviel der Rest der Welt emittieren kann, wenn über ein Klimaziel Einigkeit herrscht. Daher kann eine faire Verteilung von Emissionsrechten nur aufgrund ethischer Prinzipien erfolgen, welche nachfolgend beschrieben werden (Caney 2009; Höhne et al. 2013; IPCC 2015; Meyer und Steining 2017).

Verursacherprinzip: Historisch betrachtet haben die Industrieländer und ihre Städte durch den Ausstoß großer Emissionsmengen am meisten zum anthropogen bedingten Klimawandel beigetragen. Daher besteht für sie eine besondere Verpflichtung zur Reduktion der Treibhausgasemissionen.

Vorsorgeprinzip: Zukünftiger Generationen haben ebenso wie gegenwärtige Generationen ein Recht auf Bedürfnisbefriedigung. Irreversible Schäden sind daher durch rechtzeitiges Handeln zu vermeiden. Für alle Staaten und Städte, ob industrialisiert oder nicht, besteht die Pflicht ihre zukünftige Entwicklung klimaverträglich zu gestalten und eine Dekarbonisierung der Wirtschaft durchzuführen.

Gleichheitsprinzip: Die Pro-Kopf-Emissionen in den industrialisierten Regionen dieser Welt übertreffen die Pro-Kopf-Emissionen in den Entwicklungs- und Schwellengebieten um ein Vielfaches. Für diese ungleiche Verteilung gibt es kein Naturrecht und eine Anpassung hin zur Gleichverteilung ist erstrebenswert.

Begünstigungsprinzip: Dieses Prinzip stellt im Gegensatz zum Verursacherprinzip die Nutznießer von Klimaschutzmaßnahmen in den Mittelpunkt. Diejenigen, die von Klimaschutzmaßnahmen profitieren, sollen die Klimaschützer für ihre Bemühungen entschädigen.

Zahlungsfähigkeitsprinzip: Bei der Verteilung eines globalen Emissionsbudgets sind sowohl die finanziellen als auch die wirtschaftlichen und technischen Kapazitäten einer Region zu berücksichtigen.

2.2 Bilanzierungsperspektiven

Zwei Perspektiven sind bei der Bilanzierung von Treibhausgasen vorherrschend: die Produktionsperspektive und die Konsumperspektive (British Standards Institute 2013). Nicht durchgesetzt haben sich hingegen die „Pure Territorial“-Perspektive (Gurney et al. 2009), die Einkommensperspektive (Marques et al. 2012) und die „Extraction-Based“ Perspektive (Davis et al. 2011), auf letztere geht daher auch der vorliegende Bericht nicht weiter ein. Allen gemein ist, dass sie Treibhausgasemissionen berücksichtigen, welche in Produktlieferketten von der Ressourcenextraktion über die Verarbeitung und Nutzung bis hin zur Entsorgung anfallen, und bestimmten Gruppen in der Lieferkette zuordnen (Steininger et al. 2016).

Die produktionsbasierte oder territoriale Bilanzierungsmethode erfasst alle Treibhausgasemissionen, welche durch die Produktion von Gütern und Dienstleistungen innerhalb eines geografischen Gebietes entstehen, unabhängig davon wo und von wem die Produkte später konsumiert werden (Peters 2008; Ramaswami und Chavez 2013). Dieser Perspektive folgen beispielsweise die nationalen Treibhausbilanzen, die im Rahmen der Klimarahmenkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change,

UNFCCC) und des Kyoto-Protokolls erstellt werden (IPCC 2006; UNFCCC 1998a, 1998b). Oftmals wird dieses Prinzip der Gebietszugehörigkeit auch bei der Bilanzierung städtischer Treibhausgasemissionen angewandt. Jedoch werden die städtischen Bilanzen meistens um gebietsfremde Emissionen erweitert, da Städte ihre Aufgaben nur durch Leistungen (z.B. Fernwärme, Elektrizität, Abfallentsorgung) aus dem Um- und Ausland erfüllen können (BBSR 2017). Dies führte zu Einführung der sogenannten „Scopes“ (Fong et al. 2014; Wiedmann et al. 2016), welche eine Differenzierung der einbezogenen Emissionen ermöglichen:

Scope 1: Diese Treibhausgasemissionen können direkt durch die jeweilige Stadt, deren BewohnerInnen oder Unternehmen beeinflusst werden und entstehen, physisch gesehen, innerhalb der Stadtgrenzen. Zu den Scope 1-Emissionen zählen beispielsweise die Abgase aus dem motorisierten Individualverkehr und Rauchgase aus privaten Heizungen.

Scope 2: Scope 2-Emissionen sind jene Treibhausgasemissionen, die aus dem netzbasierten Energieverbrauch (Elektrizität, Fernwärme, Fernkühlung) durch MarktteilnehmerInnen und BewohnerInnen einer Stadt resultieren. Dabei können diese indirekten Emissionen der Produktion innerhalb oder außerhalb der Stadtgrenzen entstehen. Wird eine Stadt beispielsweise durch ein Heizkraftwerk außerhalb der Stadtgrenzen mit Fernwärme versorgt, so werden die Treibhausgasemissionen dieses Kraftwerkes entsprechend in der städtischen Treibhausgasbilanz berücksichtigt.

Scope 3: Diese indirekten Emissionen stehen in Verbindung mit der Herstellung oder dem Transport von verwendeten Produkten und Leistungen. Die Verwendung der Güter und Dienstleistungen erfolgt dabei innerhalb der Stadtgrenzen, während die Treibhausgasemissionen bei deren Erstellung außerhalb der Stadtgrenzen frei werden. Oftmals werden diese Emissionen auch „embodied“ oder „upstream emissions“ genannt. Als Beispiel für Scope 3-Emissionen sind jene zu nennen, die bei der Förderung von Erdöl entstehen, welches dann innerhalb der Stadtgrenzen, oder zur Erstellung von Produkten, die in der Stadt verwendet werden, eingesetzt wird.

Insbesondere die Einbeziehung von Scope 3-Emissionen stellt Städte in der Datenerhebung vor große Herausforderungen. Hoornweg et al. (2011) und der Weltklimarat IPCC (2006) schlagen daher vor, sich bei den Scope 3-Emissionen, ebenso wie bei der restlichen produktionsbasierten Bilanzierung auf die Bereiche Energie, Verkehr, Industrie, Land- und

Forstwirtschaft sowie Abfallwirtschaft zu fokussieren. Dieser Anregung folgt auch Kapitel 3 des vorliegenden Berichts.

Im Gegensatz zur produktionsbasierten Bilanzierung erfasst die konsumbasierte Bilanzierung alle direkten und indirekten (vorgelagerten) Treibhausgasemissionen, welche durch die Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen durch die BewohnerInnen einer Stadt entstehen. Das heißt, sie weist den ansässigen Endverbrauchern und Endverbraucherinnen und somit der Stadt die gesamten, mit dem städtischen Konsum verbundenen Treibhausgasemissionen zu, unabhängig davon wo auf der Welt die Emissionen ursprünglich ausgestoßen werden (British Standards Institute 2013).

Entscheidend bei der konsumseitigen Bilanzierung ist die Aufteilung der Nachfrage in den End- und den Intermediärkonsum. Der Intermediärkonsum ist die Summe jener Produkte und Dienstleistungen, die in die Herstellung von anderen Produkten und Dienstleistungen einfließen. In anderen Worten, der Intermediärkonsum beschreibt den Bedarf der Wirtschaftssektoren an Vorleistungen und Zwischenprodukten. Aus der Herstellung von Vorleistungen und Zwischenprodukten resultierende Treibhausgasemissionen bezeichnet man als indirekte oder vorgelagerte Emissionen. Erfolgt der Konsum eines auf Vorleistungen und Zwischenprodukten basierenden Guts innerhalb der Stadtgrenzen, so spricht man in diesem Zusammenhang von indirekten Emissionen der innerstädtischen Nachfrage, ansonsten zählen die resultierenden Treibhausgasemissionen zu den indirekten Emissionen der Exporte. Die konsumseitige Bilanzierung ignoriert die indirekten Emissionen der Exporte und erfasst ausschließlich die direkten und indirekten Treibhausgasemissionen, die bei der Herstellung von Produkten und Dienstleistungen zur Befriedigung der städtischen Endnachfrage anfallen. Das Ergebnis der konsumseitigen Bilanzierung wird auch als Carbon Footprint bezeichnet (Wieland 2016). Kapitel 4 widmet sich dieser Bilanzierungsperspektive.

Abbildung 1 setzt die produktionsseitige Bilanzierungsperspektive in Bezug zur konsumseitigen. Die hellgrau gefüllte Ellipse mit strichliertem Rand repräsentiert die produktionsbasierten Treibhausgasemissionen einer Stadt. Die innerhalb der Stadtgrenzen freigesetzten Treibhausgasemissionen gliedern sich in zwei Gruppen. Die erste Gruppe bilden die innerstädtischen Emissionen, die direkt (z.B. Emissionen des motorisierten Individualverkehrs) oder indirekt (z.B. Emissionen der Fernwärmeerzeugung) der Bedürfnisbefriedigung der städtischen Konsumenten und Konsumentinnen dienen. Die andere Gruppe setzt sich aus den indirekten Emissionen zusammen, die im Zuge der Produktion von Exportgütern durch in der Stadt ansässige Betriebe frei werden. Die dunkelgraue Ellipse mit durchgezogenem Rand kennzeichnet die konsumbasierten Treibhausgasemissionen. Diese

gliedern sich einerseits in die innerstädtischen Treibhausgasemissionen, welche direkt und indirekt mit der Befriedigung des städtischen Endkonsums einhergehen, und andererseits in die indirekten, stadtfremden Treibhausgasemissionen, welche in den Einfuhren aus dem Um- und Ausland stecken (Wieland 2016).

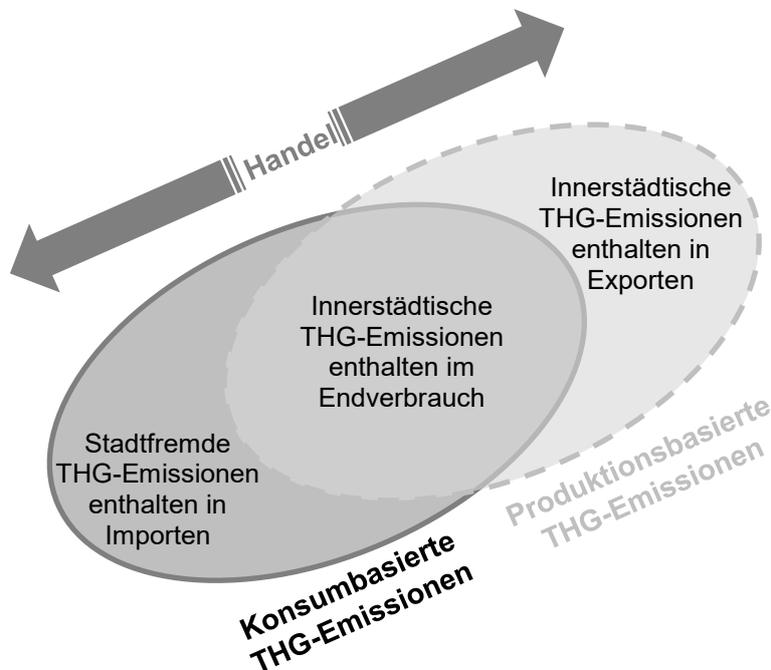


Abbildung 1: Venn-Diagramm zur Veranschaulichung der THG-Bilanzierungsperspektiven
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Wieland (2016) und C40 (2018)

2.3 Räumliche und zeitliche Abgrenzung

Das Untersuchungsgebiet beschränkt sich auf die steirische Landeshauptstadt Graz. Sie liegt im Südosten Österreichs bei 47° 4' nördlicher Breite und 15° 26' östlicher Länge im Grazer Becken an beiden Seiten der Mur (Abbildung 2). Mit einer Fläche von 127,57 km² und 289.789 Einwohnern (Stand 2017) ist sie zweitgrößte Stadt Österreichs und zählt zu den am schnellsten wachsenden Ballungsräumen in der Europäischen Union (Magistrat Graz 2017; PBL Netherlands Environmental Assessment Agency 2016; Stadt Graz 2017).

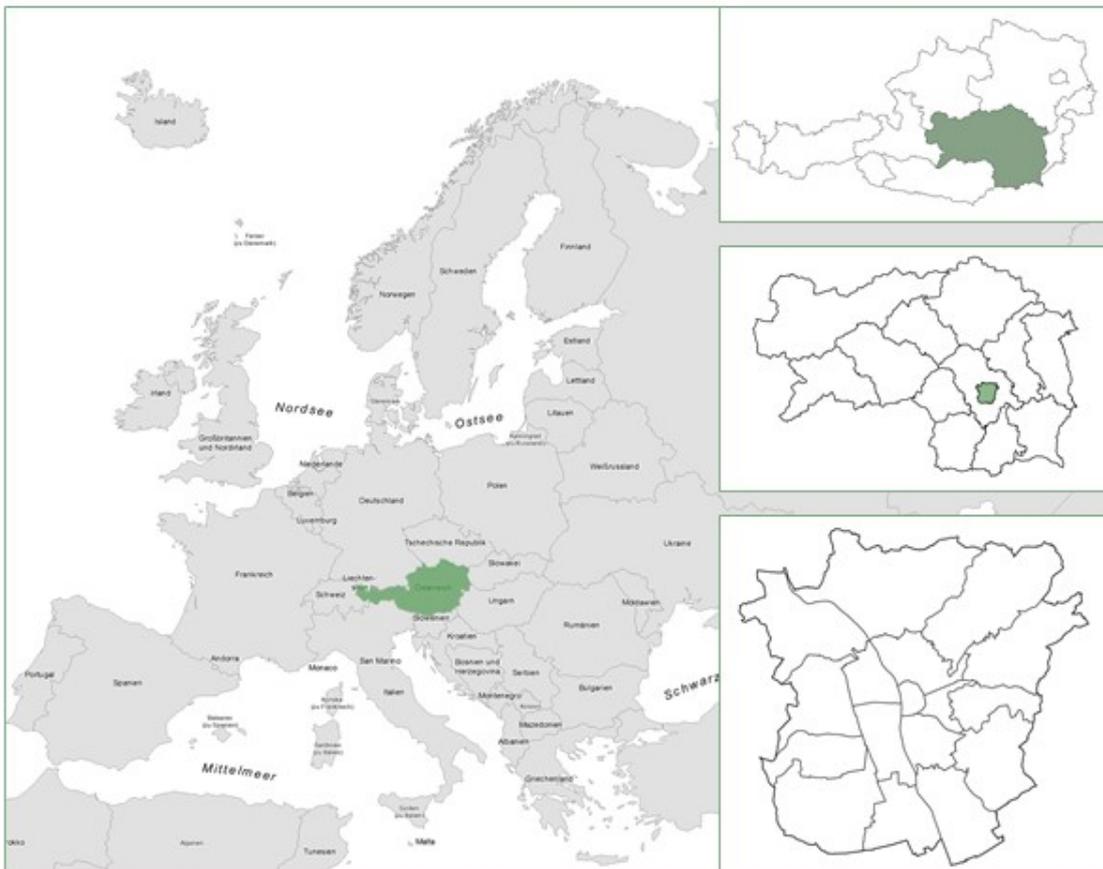


Abbildung 2: Geografische Lage der Stadt Graz
 Quelle: Eigene Darstellung

Die Stadt Graz darf nicht mit der größeren, umgebenden NUTS¹-3-Region Graz (AT221) verwechselt werden. Trotz starker wirtschaftlicher Verflechtungen innerhalb dieser von Eurostat definierten Region bleiben die Gemeinden rund um Graz in der vorliegenden Untersuchung von der Analyse ausgeschlossen, da jede Gemeinde politisch individuell agieren und so eigene Klimaschutzmaßnahmen setzen kann. Allerdings übernimmt Graz einerseits Aufgaben (z.B. Abwasserreinigung) umliegender Gemeinden, und andererseits stellt das Umland Wärme, Strom und Abfallentsorgungsmöglichkeiten zur Verfügung, sodass diese Verflechtungen in der Emissionsbilanzierung nicht vollständig außer Betracht gelassen werden können.

Der Bezugszeitraum der vorliegenden Treibhausgasbilanzen ist das Kalenderjahr 2015, da für diese Periode sowohl Daten auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite verfügbar sind und so ein Vergleich der produktions- und konsumbedingten Treibhausgasemissionen möglich ist. Jedoch muss darauf hingewiesen werden, dass nicht alle verwendeten Daten aus dem Bezugsjahr stammen. So beziehen sich beispielsweise die Verkehrsdaten auf das Jahr 2016,

¹ Nomenclature des unités territoriales statistiques; deutsch: Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik

während Informationen zu Energieträgern mangels neuerer Daten teilweise aus dem Jahr 1998 stammen, und in solchen Fällen die Daten für das einheitliche Bezugsjahr 2015 extrapoliert wurden.

Die Berechnung des Treibhausbudgets erfolgt für den Zeitraum von 2016 bis 2050. Als Beginn der Allokationsperiode für das Budget wurde das Jahr 2016 gewählt, da dieses einerseits direkt an das Bilanzierungsjahr anschließt, es war zudem aber auch das Jahr in dem das Pariser Abkommen nach seiner Ratifizierung in ausreichend vielen Ländern in Kraft trat. 2050 wird oft als das Jahr verstanden, für das die langfristigen Klimaziele des Pariser Abkommens definiert sind, daher wurde dieses Jahr als Endpunkt des Allokationszeitraums festgesetzt.

2.4 Erfasste Treibhausgase und Treibhauspotenziale

Zu den Treibhausgasen zählen Kohlendioxid, Methan, Lachgas, Wasserdampf, Ozon und fluorierte Gase wie Schwefelhexafluorid. Jedes dieser Gase hat ein spezifisches Treibhausgaspotential (engl. Global Warming Potential, GWP), welches die Klimawirksamkeit eines Gases im Vergleich zu CO₂ bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren darstellt. Durch Multiplikation der unterschiedlichen Treibhausgase mit ihrem spezifischen Treibhausgaspotential erhält man so ein einheitliches Maß (Tonnen Kohlendioxidäquivalent, t CO₂äqu) für den Beitrag des jeweiligen Gases zur Erderwärmung. Da die Treibhauspotenziale immer in Relation zu CO₂ festgesetzt werden, hat eine Tonne CO₂ per Definition immer den Gegenwert von einer Tonne CO₂äqu (Brohé 2017).

Der Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) – die verlässlichste umfassende Quelle in Bezug auf Klimafragen – veröffentlicht im Zuge seiner Berichte (IPCC 1995, 2001, 2007, 2014) immer wieder neue Treibhausgaspotenziale, da die Bestimmung der Treibhauspotenziale Unsicherheiten unterliegt und neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu Anpassungen führen. Galt beispielweise Methan 1995 noch als 21-mal treibhauswirksamer als CO₂, so stieg dieser Wert in den zwei nachfolgenden Berichten 2001 und 2007 auf 23 bzw. 25 an (Tabelle 1). Der letzte IPCC-Bericht (2014) gibt das Treibhauspotential von Methan mit 28 bzw. 34 an, je nachdem ob nur die direkten oder auch die indirekten Effekte auf das Klima berücksichtigt werden (Tabelle 1). Die Berechnung der Kohlendioxidäquivalente in dieser Arbeit nutzen die Treibhauspotenziale des fünften Sachstandberichts, welche klimatische Rückkoppelungseffekte berücksichtigen (Tabelle 1, Spalte ganz rechts).

Tabelle 1: Treibhauspotenziale unterschiedlicher Treibhausgase

Treibhausgas		GWP _{100 years}				
		IPCC 1995 (SAR)	IPCC 2001 (TAR)	IPCC 2007 (AR4)	IPCC 2014 (AR5) ¹	IPCC 2014 (AR5) ²
Kohlendioxid (CO ₂)		1	1	1	1	1
Methan (CH ₄)		21	23	25	28	34
Lachgas (N ₂ O)		310	296	298	265	298
F-Gase	CF ₄	6500	5700	7390	6630	7350
	SF ₆	23900	22200	22800	23507	26087
	HFC-23	11700	12000	14800	12397	13856
	HFC-125	2800	3400	3500	3169	3691
	HFC-134a	1300	1300	1430	1300	1550
	HFC-143a	3800	4300	4470	4805	5508
	HFC-152a	140	120	124	137	167
	HFC-227ea	2900	3500	3220	3348	3860
	HFC-236fa	6300	9400	9810	8056	8998

Quelle: IPCC (1995, 2001, 2007, 2014)

¹ exklusive klimatischer Rückkoppelungseffekte

² inklusive klimatischer Rückkoppelungseffekte

In der hier vorliegenden Arbeit werden nur die drei Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Lachgas betrachtet und daher in Tabelle 2 (Umweltbundesamt 2018c) näher beschrieben. Wasserdampf als Treibhausgas findet keine Berücksichtigung, da menschliches Verhalten kaum Einfluss auf die atmosphärische Konzentration dieses Gases hat (Gassmann 1994). F-Gase entziehen sich der Betrachtung, da sie das Kriterium der Wesentlichkeit nicht erfüllen. Wesentliche Emissionen sind laut österreichischen Emissionskatasterverordnung alle jene Emissionen, die mehr als 0,1% zu den Gesamtemissionen eines Luftschadstoffes im Untersuchungsgebiet beitragen (Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2002).

Tabelle 2: Betrachtete Treibhausgase

Treibhausgas	Symbol	Beschreibung
Kohlendioxid	CO ₂	Kohlendioxid ist geruch- und farblos. Durchschnittlich verweilt es 120 Jahre in der Atmosphäre. Das Gas entsteht vor allem durch Verbrennung fossiler Energieträger. Hauptemittenten sind der Verkehr, die industrielle Produktion, die Strom- und Wärmeerzeugung sowie die Haushalte.
Methan	CH ₄	Methan ist wie Kohlendioxid geruch- und farblos, jedoch im Gegensatz zu Kohlendioxid hochentzündlich. Im Schnitt verbleibt es 9 bis 15 Jahre in der Atmosphäre. Hauptverursacher der CH ₄ -Emissionen sind die Forst- und Landwirtschaft, Klärwerke und Mülldeponien – es entsteht bei anaeroben Zersetzungsprozessen.
Lachgas (Distickstoffoxid)	N ₂ O	Lachgas riecht süßlich und ist wie Kohlendioxid und Methan farblos. Durch den Abbau stickstoffhaltiger Verbindungen (z.B. Dünger) im Boden durch Mikroorganismen, sowie durch chemische Prozessen in der Industrie gelangt es in die Atmosphäre, wo es rund 114 Jahre verweilt.

Quelle: Umweltbundesamt (2018c)

3. Produktionsbasierte Treibhausgasbilanzierung Graz 2015

Im Rahmen der produktionsbasierten Treibhausgasbilanzierung für Graz 2015 werden die Bereiche Abfall und Abwasser, Hausbrand, Industrie und Gewerbe sowie Verkehr aufgegriffen. Während der Bereich Abfall und Abwasser erstmalig bilanziert wird, stellt die produktionsseitige Bilanzierung der anderen drei Bereiche eine Fortschreibung der klimarelevanten Teilbereiche der Emissionskataster 1995 und 2001 dar. Berücksichtigung finden die Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowohl aus Scope 1 und Scope 2 als auch Scope 3 gemäß Fong et al. (2014). Abbildung 3 zeigt eine schematische Darstellung der berücksichtigten Bereiche (alle Bereiche innerhalb des roten Rahmens) innerhalb der Emissionsklassifikation nach den Scopes.

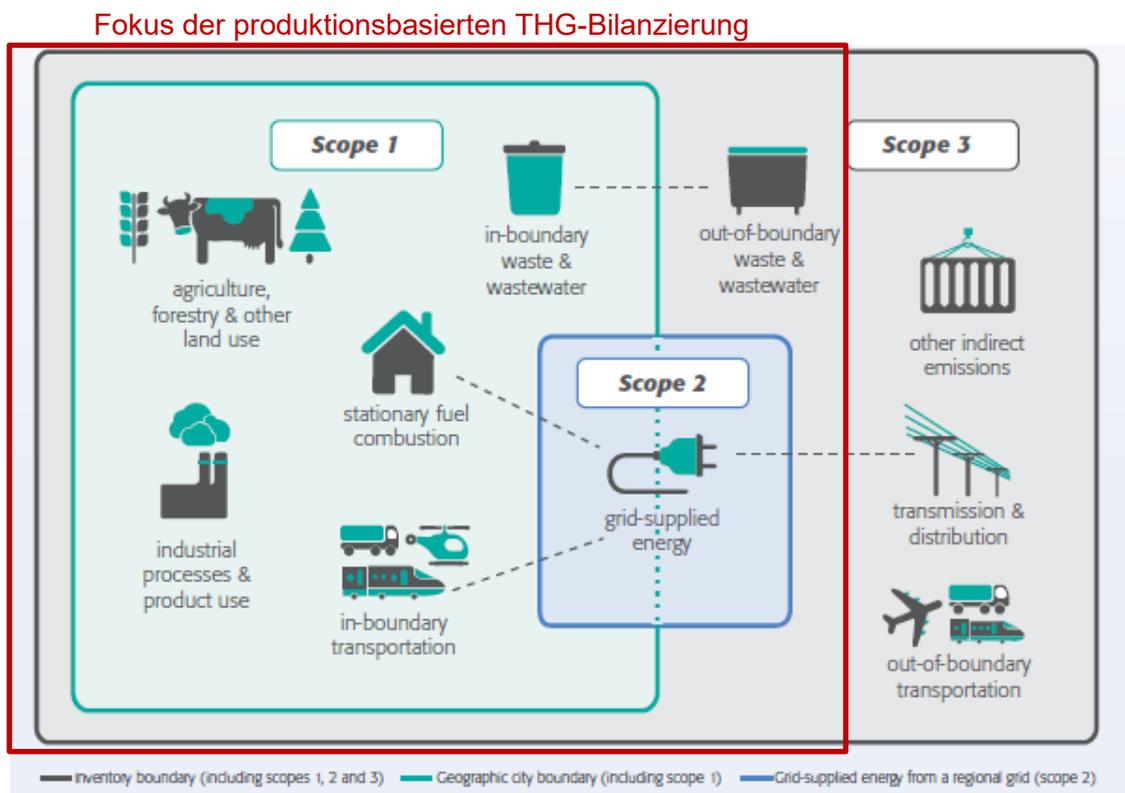


Abbildung 3: Schematische Darstellung von städtischen THG-Emissionen in Scope 1, 2 und 3
Quelle: Fong et al. (2014)

3.1 Abfall und Abwasser

Städte produzieren große Mengen an Abfall und Abwasser. Abfallprodukte können direkt innerhalb der Stadtgrenzen verwertet oder zur Verwertung in Gebiete außerhalb der Stadtgrenzen transportiert werden. Treibhausgase entstehen bei der Abfallverwertung sowohl durch aerobe als auch anaerobe Prozesse (Fong et al. 2014).

Der Abfall der GrazerInnen wurde bis 1985 auf der Deponie mit Standort Köglerweg entsorgt. Während sich die Deponie damals noch außerhalb des Stadtgebietes befand, ist die heute stillgelegte Deponie ein Teil des stetig wachsenden Stadtgebietes geworden (Kuschnig und Richtig-Czerni 2014). Das austretende Faulgas wird im Zuge des Projektes „HELIOS“² gesammelt und thermisch verwertet in das Grazer Fernwärmenetz eingespeist. Um eine Doppelzählung zu vermeiden, werden daher die dadurch entstehenden Treibhausgasemissionen innerhalb des (diesbezüglich aber nicht differenziert ausgewiesenen) Sektors Fernwärme (und damit im Bereich Hausbrand) berücksichtigt.

Heutzutage finden nur noch Sammlung und Sortierung des Abfalls innerhalb der Stadtgrenzen statt. Die stoffliche und thermische Verwertung sowie die Deponierung erfolgen außerhalb der Stadtgrenzen. Landwirte rund um Graz übernehmen die Kompostierung der biologischen Abfälle³ (Umweltamt Graz o. J.). In Niklasdorf in der Obersteiermark wird ein Teil des Mülls in einer Wirbelschichtverbrennungsanlage verfeuert. Die heizwertreichsten Abfälle werden in Retznei im Zuge der Zementproduktion mitverfeuert. In Frohnleiten wiederum erfolgt die Stabilisierung des Abfalls durch mechanisch-biologische Prozesse und die dortige Deponie dient als Endlager (Land Steiermark 2011). Diese Beispiele geben einen ersten Einblick in die Grazer Abfallentsorgungsstruktur und zeigen die Bedeutung der Entsorgungsprozesse Deponierung, Verbrennung, Kompostierung auf. Aufgrund der Komplexität und Mannigfaltigkeit der Recyclingprozesse werden diese im Sektor Industrie behandelt, sofern sie den Treibhausgasemissionen der Stadt zurechenbar sind.

Im November 2007 endete die Sanierung und der Ausbau der in Gössendorf gelegenen Kläranlage der Stadt Graz. Seitdem zählt sie zu den modernsten Abwasserreinigungsanlagen Europas. Rund 28 Millionen Kubikmeter Abwasser jährlich werden auf höchstem Stand der Technik von Stickstoff, Kohlenstoff, Phosphor und anderen Verunreinigungen befreit (Kanalbauamt Graz 2007).

3.1.1 Daten, Methodik und erste Ergebnisse im Bereich Abfall und Abwasser

Die Berechnung der durch den Bereich Abfall und Abwasser erzeugten Treibhausgasemissionen erfolgt auf der Grundlage von Daten des Umweltamtes der Stadt Graz. Im Jahr 2015 fielen rund 155.000 Tonnen an Abfall, verteilt auf 16 Fraktionen, und 28,6 Millionen Kubikmeter Abwasser in der Stadt Graz an. Aufgrund unzureichender Informationen

² Nähere Informationen unter:

http://www.umwelt.graz.at/cms/beitrag/10289404/4851364/Solares_Speicherprojekt_HELIOS.html

³ Siehe Kurzfilm: https://www.youtube.com/watch?v=d8xfeMMS_U4&feature=youtu.be

über die Verwertung von zehn Fraktionen (dies entspricht rund 50.000 Tonnen) können diese nicht in der Treibhausgasbilanzierung berücksichtigt werden (Tabelle 3). Einerseits ist dies auf die Heterogenität innerhalb bestimmter Abfallfraktionen (z.B. Sperrmüll, Problemstoffe, sonstige Abfälle) und ihrer Entsorgungsart zurückzuführen. Andererseits beinhalten manche dieser zehn Abfallfraktionen (z.B. Textilien, Altholz, Elektro- und Elektronikaltgeräte) Güter, die ohne großem Behandlungsaufwand dem Re-Use-Sektor zugeführt werden können. Ohnehin tragen diese Abfälle aufgrund hoher chemischer Stabilität (z.B. Baurestemassen) oder aufgrund geringer Mengen (z.B. Batterien) nur zu geringen Mengen zu den Treibhausgasemissionen der Stadt Graz bei.

Tabelle 3: Liste nicht berücksichtigter Abfälle

Abfallart	Menge in Tonnen
Sperrmüll	9.936,50
Straßenkehricht	2.552,06
Textilien	711,85
Altholz	7.412,47
Altspeiseöle und -fette	55,37
Problemstoffe	381,28
Baurestemassen	15.403,04
Elektro- und Elektronikaltgeräte	2.060,61
Batterien	68,24
Sonstige Abfälle (Styropor, Altreifen, Eisenschrott,...)	11.311,07
Summe	49.892,50

Quelle: Umweltamt Graz

Rund zwei Drittel (dies entspricht rund 105.000 Tonnen) des Grazer Abfalls entfallen auf die sechs Abfallfraktionen Biomüll, Altpapier, Glasabfälle, Restmüll, Metallverpackungen und Leichtverpackungen (Tabelle 4). Rund 52% dieses Abfalls werden recycelt, wobei auch die Kompostierung des Biomülls (rund 21.000 Tonnen) zu dieser Verwertungsmethode zählt, obwohl es sich dabei nicht um Recycling im eigentlichen Sinne handelt. Die thermische Verwertung kommt ausschließlich beim Restmüll und bei den Leichtverpackungen zum Einsatz, sodass 35% des berücksichtigten Abfalls in diese Verwertungskategorie fallen. Letztendlich landen 13% der sechs Abfallfraktionen auf der Deponie.

Tabelle 4: Berücksichtigte Abfälle und deren Verwertung

[in Tonnen]	Recycling	Thermische Verwertung	Deponierung	Summe
Bioabfälle	20.816,96		643,82	21.460,78
Altpapier	23.825,72		486,24	24.311,96
Glasabfälle	7.181,59		146,56	7.328,15
Restmüll	2.049,11	36.371,72	12.806,94	51.227,77
Metallverpackungen	769,54		85,50	855,04
Leichtfraktion	76,19	88,55	41,18	205,92
Summe	54.719,10	36.460,27	14.210,26	105.389,63

Quelle: Umweltamt Graz

Die Treibhausgasbilanzierung im Bereich Abfall und Abwasser folgt grundsätzlich dem einfachen, multiplikativen Ansatz $\text{Emissionsmenge} = \text{Abfall- bzw. Abwasseraufkommen} \times \text{Emissionsfaktor}$. Sie unterscheidet sich jedoch jeweils nach den Verwertungsmethoden und wird daher nachfolgend näher beschrieben.

Kompostierung

Die Kompostierung zählt zu den aeroben Prozessen. Während der Rotte wandelt sich ein Großteil des organischen Materials in Kohlendioxid um. Wird der Kompost jedoch nicht ausreichend durchlüftet entsteht Methan. Auch Lachgasemission können bei der Kompostierung freigesetzt werden und hängen vom ursprünglichen Stickstoffgehalt des Ausgangsmaterials ab (IPCC 2006).

Die Berechnung der Treibhausgasemissionen der Kompostierung basiert auf den Modellen des GPC (Fong et al. 2014) und der „IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“ (IPCC 2006). Je nach Treibhausgas (Kohlendioxid, Methan, Lachgas) wird die Masse des organischen Abfalls mit einem spezifischen Emissionsfaktor multipliziert. Die Emissionsfaktoren repräsentieren den durchschnittlichen Emissionsausstoß eines österreichischen Komposts, da keine spezifischen Emissionsfaktoren für den Kompost der Stadt Graz bekannt sind. Der Emissionsfaktor für Kohlendioxid entstammt der Emissionsfaktorendatenbank des IPCC (IPCC 2018). Bei Methan und Lachgas hängen die Emissionsfaktoren vom Feuchtigkeitsgehalt des Ausgangsmaterials ab (Fong et al. 2014). Da Aufzeichnungen zum Feuchtigkeitsgehalt fehlen, wird ein ausgewogenes Mischverhältnis von trockenem und feuchtem Material angenommen. Dementsprechend ergeben sich die Emissionsfaktoren für Methan und Lachgas jeweils als arithmetisches Mittel aus den GPC-Faktoren für trockene und nasse Bioabfälle (Fong et al. 2014). Zusammengefasst verursacht die Kompostierung des Bioabfalls rund 885 Tonnen an Kohlendioxid, ca. 146 Tonnen an Methan und etwa 9 Tonnen an Lachgas (Tabelle 5).

Tabelle 5: Emissionen aus der Kompostierung biologischer Abfälle

Ermittlung		Wert
CO ₂ -Emissionen [t] = m x EF_CO ₂		884,72
CH ₄ -Emissionen [t] = m x EF_CH ₄		145,72
N ₂ O-Emissionen [t] = m x EF_N ₂ O		9,37
m	= Gewicht der behandelten, biologischen Abfälle in Tonnen	20.816,96
EF_CO ₂	= Emissionsfaktor in Tonnen CO ₂ pro Tonne Abfall	0,04250
EF_CH ₄	= Emissionsfaktor in Tonnen CH ₄ pro Tonne Abfall	0,00700
EF_N ₂ O	= Emissionsfaktor in Tonnen N ₂ O pro Tonne Abfall	0,00045

Quelle: Fong et al. (2014), IPCC (2018), Eigene Berechnungen

Thermische Abfallverwertung

In mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen und Splittinganlagen wird von den Fraktionen Restmüll und Leichtverpackungen eine heizwertreiche Fraktion abgetrennt. Die Entscheidung wo diese heizwertreiche Fraktion verbrannt wird, hängt vom Energiegehalt dieser ab. Ist sie energiearm, wird sie direkt der Wirbelschicht-Verbrennungsanlage in Niklasdorf zugeführt, um die angeschlossene Papierfabrik mit Wärme und elektrischer Energie zu versorgen. Enthält sie viel Energie, wird sie nach weiteren Aufbereitungsmaßnahmen als Ersatzbrennstoff im Zementwerk in Retznei mitverfeuert (Land Steiermark 2011).

Bei der Berechnung der Grazer Treibhausgasemissionen aus der thermischen Abfallverwertung findet das multiplikative Modell von Fong et al. (2014) Verwendung (Tabelle 6). Ausgehend von den rund 36.500 Tonnen an heizwertreichen Abfällen aus Restmüll und Leichtverpackungen sowie den Emissionsfaktoren aus der IPCC Emissionsfaktordatenbank (IPCC 2018) für Kohlendioxid und Lachgas ergeben sich Treibhausgasemissionen in Höhe von ca. 18.500 Tonnen Kohlendioxid und rund 0,4 Tonnen Lachgas. Die Methanemissionen aus der thermischen Abfallbehandlung hängen laut Fong et al. (2014) maßgeblich von der Art der Verbrennungsanlage ab. Da die in der Steiermark verwendeten Verfahren zu minimalem Methanemissionen – rund 0,1 Gramm pro Tonne Abfall – führen, sind diese in der Bilanzierung vernachlässigbar (Tabelle 6).

Tabelle 6: Emissionen der thermischen Abfallverwertung

Ermittlung		Wert
CO ₂ -Emissionen [t] = m x EF_CO ₂		18.521,82
CH ₄ -Emissionen [t] = m x EF_CH ₄		0,00
N ₂ O-Emissionen [t] = m x EF_N ₂ O		0,44
m	= Gewicht des verbrannten Abfalls in Tonnen	36.460,27
EF_CO ₂	= Emissionsfaktor in Tonnen CO ₂ pro Tonne Abfall	0,5080000
EF_CH ₄	= Emissionsfaktor in Tonnen CH ₄ pro Tonne Abfall	0,0000001
EF_N ₂ O	= Emissionsfaktor in Tonnen N ₂ O pro Tonne Abfall	0,0000120

Quelle: Fong et al. (2014), IPCC (2018), Eigene Berechnungen

Deponierung

Gemäß der fünfstufigen Abfallhierarchie des österreichischen Abfallwirtschaftsgesetzes zur Erreichung abfallwirtschaftlicher Ziele erhält die Abfallvermeidung die höchste Priorität (Rang 1), gefolgt von der Vorbereitung zur Wiederverwendung (Rang 2), dem Recycling (Rang 3) und der sonstigen Verwertung (Rang 4) (§1 Abs. 2 AWG 2002). Die Maßnahme mit der niedrigsten Priorität (Rang 5) stellt die dauerhafte Beseitigung von Abfall auf Deponien dar (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus 2017). Aufgrund dieser und weiterer gesetzlichen Vorgaben, wie Recyclingquoten, landen nur etwas mehr als 10 % (rund 14.200 Tonnen) des Abfalls von Graz auf der Deponie in Frohnleiten.

Treibhauswirksam sind vor allem die Methanemissionen aus der Deponie, welche bei der Zersetzung organischer Materialien über Jahre, manchmal sogar Jahrzehnte, hinweg entstehen. Dementsprechend setzt sich das ausströmende Deponiegas eines Jahres sowohl aus den Emissionen aus dem diesjährig deponierten Abfall als auch aus den Emissionen des deponierten Abfalls vorhergehender Perioden zusammen (Fong et al. 2014). Um dieser zeitlichen Abhängigkeit der Methanemissionen Rechnung zu tragen, stellt das GPC zwei Modelle zur Verfügung. Das komplexere „First Order of Decay“ Modell nutzt detaillierte Zeitreihendaten zur Abschätzung der Methanemissionen, während das einfachere „Methan Commitment“ Modell die Methanemissionen anhand des deponierten Abfalls des Bilanzierungsjahres und Lebenszyklus- und Massestromdaten einer durchschnittlichen Deponie schätzt (Fong et al. 2014).

Aufgrund der Einfachheit gelangt das dreistufige „Methan Commitment“ Modell zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen des deponierten Abfalls aus Graz zur Anwendung. Im ersten Schritt gilt es den abbaubaren, organischen Kohlenstoffanteil (AOK) des deponierten Abfalls des Bilanzierungsjahres zu ermitteln. Die gewichtete Summe in Tabelle 7 – eine Abwandlung der GPC-Formel aufgrund abweichender Abfallklassifizierungen – beschreibt die Zusammensetzung des AOK. Die biologischen Abfälle machen 5% des deponierten Abfalls

aus und tragen mit 17,5% zum AOK bei. 3% des deponierten Abfalls sind Altpapier und -karton und gehen mit dem Gewicht von 0,4 in die Berechnung des AOK ein. Der Rest des deponierten Abfalls (92%) setzt sich aus Restmüll, Glas, Metall und Leichtverpackungen zusammen und beinhaltet 15% abbaubaren, organischen Kohlenstoff. In Summe weisen die im Jahr 2015 deponierten Abfälle von Graz einen abbaubaren, organischen Kohlenstoffanteil von 16% auf (Tabelle 7).

Tabelle 7: Abbaubarer, organischer Kohlenstoff (AOK)

Ermittlung		Wert
AOK = (0,175 x A) + (0,4 x B) + (0,15 x C)		0,16
A	= Anteil biologische Abfälle (Lebensmittel, Grünschnitt...) am deponierten Abfall	0,05
B	= Anteil Altpapier am deponierten Abfall	0,03
C	= Anteil sonstiger Abfälle (Restmüll, Glas, Metall, Leichtverpackungen) am deponierten Abfall	0,92

Quelle: Fong et al. (2014), Eigene Berechnungen

Im zweiten Schritt erfolgt die Ermittlung des Methangenerierungspotentials (L_0) (Tabelle 8). Das Methangenerierungspotential beschreibt wie viele Tonnen Methan durch eine Tonne deponierten Abfall entstehen und basiert auf den in Schritt eins ermittelten AOK. Es hängt laut Fong et al. (2014) auch maßgeblich von der Art der Deponie ab. Kontrolliert geführte Deponie, wie jene in Frohnleiten, produzieren mehr Methan pro Tonne deponierten Abfall als unkontrollierte Deponien, da sich ein kleinerer Anteil an Abfall in den oberen, sauerstoffreichen Schichten der Deponie befindet und sich unter aeroben Bedingungen zersetzen kann. Kontrolliert geführte Deponien stellen den Standardfall des GPC dar, sodass es zu keiner Korrektur des Methangenerierungspotentials kommt. Unkontrollierte Deponien verursachen im Schnitt um 40% weniger Methan als kontrolliert geführte. Zusätzlich zu den zwei beschriebenen Faktoren beeinflussen noch drei weitere Faktoren das Methangenerierungspotential. Einerseits baut sich nur ein Teil des AOK, repräsentiert durch den Faktor AOK_F , tatsächlich ab. Andererseits besteht das Deponiegas nur zu einem Teil aus Methan. Diese Tatsache wird durch F in der Formel symbolisiert. Für AOK_F als auch für F werden die Standardwerte des GPC von 0,6 bzw. 0,5 verwendet. Schlussendlich beschreibt 16 zu 12 noch das stöchiometrische Verhältnis von Methan zu Kohlenstoff (Fong et al. 2014) und es folgt ein L_0 von 0,06 Tonnen Methan pro Tonne deponierten Abfall (Tabelle 8).

Tabelle 8: Methangenerierungspotential

Ermittlung		Wert
$L_o = MKF \times AOK \times AOK_F \times F \times 16/12$		0,06
MKF	= Methan-Korrektur-Faktor basierend auf den Typ der Deponie	1,00
AOK	= Abbaubarer organischer Kohlenstoff im Jahr der Deponierung	0,16
AOK _F	= Teil des AOK, welcher sich tatsächlich abbaut	0,60
F	= Anteil des Deponiegases, welcher Methan ist	0,50
16/12	= Stöchiometrisches Verhältnis zwischen Methan und Kohlenstoff	1,33

Quelle: Fong et al. (2014), Eigene Berechnungen

Im dritten und letzten Schritt erfolgt die eigentliche Berechnung der Methanemissionen der Abfalldeponien (Tabelle 9). Neben dem Methangenerierungspotential aus dem zweiten Schritt und der Masse des deponierten Abfalls des Inventurjahres verwendet das „Methan Commitment“ Modell noch einen Oxidationsfaktor (OX) sowie einen Korrekturfaktor (f_{rec}), welcher den Anteil des energetisch genutzten Deponiegases berücksichtigt, zur Ermittlung der Emissionsmenge. Der Oxidationsfaktor erhält bei kontrolliert geführten Deponien den Standardwert 0,1 (Fong et al. 2014). Der Korrekturfaktor wird mit 0,9 festgesetzt, da das Deponiegases in Frohnleiten aufgefangen und in einem Blockheizkraftwerk verstromt wird (Gemeindebetriebe Frohnleiten GmbH 2019). Durch Multiplikation der Faktoren ergeben sich Methanemission in Höhe von rund 81 Tonnen im Jahr 2015 (Tabelle 9).

Tabelle 9: Methan Commitment Methode

Ermittlung		Wert
$CH_4\text{-Emissionen [t]} = MDA \times L_o \times (1-f_{rec}) \times (1-OX)$		81,01
MDA	= Masse des deponierten Abfalls im Inventurjahr in Tonnen	14.210,26
L _o	= Methangenerierungspotential in Tonnen CH ₄ pro Tonne Abfall	0,06
f _{rec}	= Teil des Methans, welcher abgefackelt oder energetisch genutzt wird	0,90
OX	= Oxidationsfaktor	0,10

Quelle: Fong et al. (2014), Gemeindebetriebe Frohnleiten GmbH (2019), Eigene Berechnungen

Abwasserbehandlung

In der Kläranlage in Gössendorf, südlich von Graz, erfolgt die Abwasserreinigung durch ein mehrstufiges Verfahren. In den mechanischen, gefolgt von den biologischen Reinigungsstufen sowie bei der Klärschlammbehandlung wird das Abwasser und dessen Nebenprodukte von Stickstoff, Kohlenstoff, Phosphor und anderen Verunreinigungen befreit (Kanalbauamt Graz 2007). Mit dem Ausbau der Anlage ab 2020 soll das Abwasser in einer weiteren Reinigungsstufe auch von Mikroplastikpartikel gereinigt werden (Windisch 2018). Die Reinigung vollzieht sich biologisch, abgesehen vom Phosphatabbau, der eine Zugabe von Fällmitteln erfordert (Holding Graz 2017a). Bei den einzelnen Reinigungsstufen entsteht sowohl Methan als auch Lachgas (Fong et al. 2014).

Da Informationen zur Aufteilung der Abwässer in industrielle, gewerbliche und häusliche Abwässer sowie Informationen zu deren organischen Bestandteilen fehlen, können die üblichen Modelle zur Berechnung der Treibhausgasemissionen der Abwasseraufbereitung von IPCC (2006) und GPC (Fong et al. 2014) nicht verwendet werden. Stattdessen bezieht diese Studie Emissionsfaktoren aus der aktuellsten Londoner Treibhausgasbilanz (British Standards Institute 2014). Londons sechs Abwasseraufbereitungsanlagen unterscheiden sich jedoch von der Grazer Kläranlage bezüglich Modernität und Art der eingesetzten Technologien, sodass die Nutzung dieser Emissionsfaktoren mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer Überschätzung der tatsächlichen Treibhausgasemissionen von Graz führt, und somit besser als eine obere Grenze der tatsächlichen Grazer Werte zu interpretieren sein dürfte.

Rund 80.000 Kubikmeter an Abwasser durchlaufen täglich die Reinigungsprozesse der Grazer Kläranlage (Kanalbauamt Graz 2007). In Kombination mit den extrahierten Emissionsfaktoren ergibt sich so ein Treibhausgasausstoß im Jahr 2015 von rund 370 Tonnen an Methan und etwa 3 Tonnen an Lachgas (Tabelle 10).

Tabelle 10: Emissionen der Abwasserbehandlung

Ermittlung		Wert
CH ₄ -Emissionen [t] = m ³ x EF_CH ₄ x 10 ⁻³		371,32
N ₂ O-Emissionen [t] = m ³ x EF_N ₂ O x 10 ⁻³		3,26
m ³	= Abwasser in Kubikmeter	28.600.000,00
EF_CH ₄	= Emissionsfaktor in Gramm CH ₄ pro Kubikmeter Abwasser	0,01298338
EF_N ₂ O	= Emissionsfaktor in Gramm N ₂ O pro Kubikmeter Abwasser	0,00011384

Quelle: Fong et al. (2014), British Standards Institute (2014), Kanalbauamt Graz (2007), Eigene Berechnungen

3.1.2 Emissionen des Bereiches Abfall- und Abwasser

Tabelle 11 führt die Teilergebnisse des Sektors Abfall- und Abwasserbehandlung gewichtet mit den spezifischen Treibhauspotentialen der unterschiedlichen Gase zusammen. Die Gesamtemissionen dieses Sektors in Höhe von rund 43.600 Tonnen CO₂äqu verteilen sich im Verhältnis 43:31:20:6 auf die Bereiche Verbrennung, Abwasser, Kompostierung und Deponierung. Bei der thermischen Verwertung werden rund 18.700 Tonnen CO₂äqu frei, während bei der Abwasserbehandlung rund 13.600 Tonnen CO₂äqu entstehen. Diese beiden Bereiche zusammen sind somit für rund drei Viertel der Treibhausgasemissionen des Bereichs Abfall- und Abwasserentsorgung verantwortlich. Das vierte Viertel bilden die Kompostierung mit ca. 8.600 Tonnen CO₂äqu und die Deponierung mit rund 2.800 Tonnen CO₂äqu. Verteilt man diese Treibhausgasemissionen gleichmäßig über die Grazer Bevölkerung des Jahres

2015, so folgt, dass jede Grazerin und jeder Grazer rund 155 Kilogramm CO₂äqu durch ihre bzw. seine Abwässer und Abfälle verursacht.

Tabelle 11: Treibhausgasemissionen des Bereichs Abfall- und Abwasserentsorgung

Bereich	t CO ₂ äqu	%
Kompostierung	8.630,71	19,8
Verbrennung	18.652,32	42,7
Deponierung	2.754,23	6,3
Abwasser	13.595,31	31,2
Gesamtemissionen	43.632,57	100,0

Quelle: Eigene Berechnungen

3.2 Hausbrand, Industrie und Gewerbe

Private und öffentliche Haushalte sowie Unternehmen benötigen zur Ausübung ihrer Aktivitäten Energie. Sowohl bei der Nutzung von Primärenergieträgern wie Erdöl, Erdgas und Kohle als auch bei der Nutzung von Sekundärenergieträgern wie Fernwärme und Strom zum Heizen, Kochen, Herstellen von Produkten und Dienstleistungen entstehen direkt oder indirekt Treibhausgasemissionen. Das Ausmaß des Emissionsausstoßes hängt einerseits von der Art und Menge der eingesetzten Energieträger und andererseits von den genutzten Technologien zur Energieerzeugung und -nutzung ab (Wegener Zentrum et al. 2010c). Insbesondere durch Steigerung der Energieeffizienz sowie den Ausbau nachhaltiger Energiesysteme erhofft man sich den Energieverbrauch und den damit einhergehenden Emissionsausstoß reduzieren zu können. Laut dem Klimaschutzplan Steiermark gibt es hierfür in der Steiermark noch genügend Potential (Land Steiermark 2018; Wegener Zentrum et al. 2010a, 2010b)

Die Stadt Graz greift in ihrem „Energienmasterplan Graz“ das Thema Energieeffizienz und emissionsarme Energie auf. Schwerpunkte liegen vor allem in der Steigerung der Energieeffizienz in städtischen Gebäuden und Anlagen, im Ausbau der Fernwärme und Solarenergie, in der Steigerung der Energieeffizienz in Wohngebäuden, Haushalten und Betrieben, und im Ausbau klimaschonender Mobilität⁴. Zahlreiche Maßnahmen und Projekte wurden bereits zur Erreichung der Energiewende umgesetzt (Umweltamt Graz 2018). Ob sich dies auch in Treibhausgasbilanz widerspiegelt, soll dieses Kapitel zeigen.

⁴ Die Treibhausgasemissionen des Verkehrs werden an dieser Stelle nicht bilanziert. Sie werden in Kapitel 3.3 berücksichtigt.

3.2.1 Hausbrand, Industrie und Gewerbe: Daten und Methodik

Um die Treibhausgasemissionen des Bereichs Hausbrand, Industrie und Gewerbe bilanzieren zu können, müssen Haushalts- als auch Unternehmensdaten ermittelt werden. Da es keine einzelne Datenquelle gibt, die alle nötigen Informationen beinhaltet, wird auf zahlreiche Sekundärquellen zurückgegriffen. Die Bilanzierung selbst folgt wiederum dem einfachen, multiplikativen Ansatz $\text{Emissionsmenge} = \text{Bezugsgröße} \times \text{Emissionsfaktor}$.

Hausbrand

Der Gesamtwärmebedarf 2015 der Grazer Haushalte ist nicht bekannt. 2017 beträgt er laut Umweltamt Graz 2.300 Gigawattstunden und es sind rund 181.000 Wohneinheiten mit Wärme zu versorgen (Stadt Graz 2017). Unterstellt man ein proportionales Verhältnis zwischen Wohneinheiten und Wärmebedarf, so ergibt sich unter Verwendung des Verhältnisses der Anzahl der Wohneinheiten von 2015 (Stadt Graz 2015) zu jenen aus 2017 ein Gesamtwärmebedarf für 2015 in Höhe von knapp 2.200 Gigawattstunden (Tabelle 12).

Tabelle 12: Raumwärmebedarf je Wohneinheit

Jahr	2017	2015
Wohneinheiten	181.361	172.357
Gesamtwärmebedarf [GWh]	2.300	2.186

Quelle: Stadt Graz (2015, 2017), Umweltamt Graz, Eigene Berechnungen

Dieser Gesamtwärmebedarf wird durch unterschiedliche Wärmeerzeugungssysteme gedeckt. Ein Großteil der Haushalte heizt mit Fernwärme. Viele nutzen aber auch Öl-, Kohle, Gas- und Elektroheizungen zur Wärmeerzeugung. Ein geringer Anteil der Haushalte erzeugt die benötigte Wärme mit erneuerbaren Energien. Genaue Zahlen zu den Wärmeerzeugungssystemen liegen leider nicht vor, sodass auch hier auf Abschätzungen zurückgegriffen werden muss. Die hierfür verwendeten Parameter stammen primär aus der Studie „Emissionsreduktion durch die Fernwärme im Großraum Graz“ (Grazer Energieagentur 2013), welche ihrerseits auf Daten aus dem Jahr 1998 aufbaut und nachfolgend durch aktuellere Informationen angepasst wird.

Abbildung 4 gibt einen Überblick über die Anteile der Energieträger am Energieeinsatz in den Jahren 1998 und 2015. Den Berechnungen für 2015 liegen folgende Überlegungen und Daten zugrunde. Zu den Energieträgern Kohle, Strom und erneuerbare Energien inkl. Biomasse gibt es keine neuen Informationen. Es wird daher angenommen, dass die Anteile dieser Energieträger am Wärmeversorgungsmix über die Zeit unverändert bleiben. Laut dem Geschäftsbericht der Energie Graz (2016), dem Hauptenergieversorger der Stadt Graz,

beträgt die Erdgasaufbringung 2015 953 Gigawattstunden, wovon 60% auf die Raumwärme und Warmwassererzeugung entfallen. Der Erdgasanteil am Wärmeversorgungsmix steigt somit von rund 15% im Jahr 1998 auf rund 17% im Jahr 2015 an. Durch den Ausbau der Fernwärme kann im Jahr 2015 etwa die Hälfte des Wärmebedarfs durch diesen Energieträger gedeckt werden (Energie Graz 2016). 1998 trägt die Fernwärme im Vergleich zu 2015 um rund 15 Prozentpunkte weniger zur Wärmeversorgung bei. Letztendlich ergibt sich der Anteil der Ölheizungen als Restgröße. Unter dieser Annahme sinkt der Anteil des Energieträgers Heizöl am Energieeinsatz von rund 24% im Jahr 1998 auf 8% im Jahr 2015.

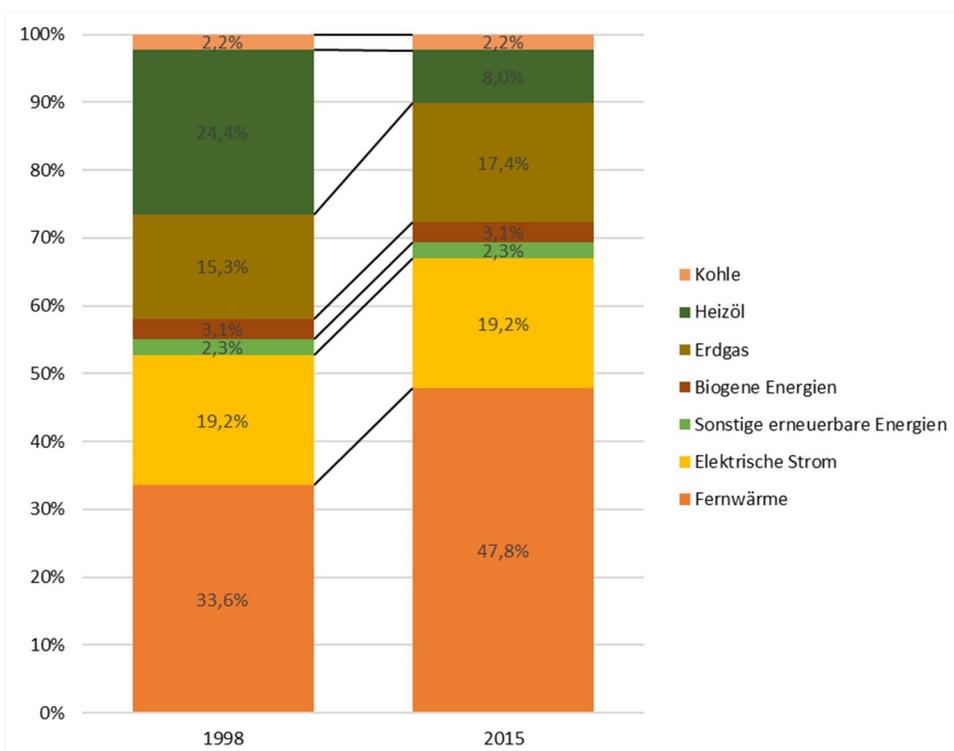


Abbildung 4: Anteile Energieträger am Endenergieeinsatz für Raumwärme, Warmwasser und Kochen
 Quelle: Grazer Energieagentur (2013), Energie Graz (2016), Eigene Berechnungen

Dem Klimaschutzplan Steiermark (Wegener Zentrum et al. 2010a) folgend beeinflusst die Nutzung erneuerbare Energieträger inkl. Biomasse das Klima nicht. Diese Art der Klimaneutralität wird durch Herausrechnen von rund 223 Gigawattstunden aus dem Gesamtwärmebedarf von knapp 2.200 Gigawattstunden berücksichtigt. Dabei setzen sich die 223 Gigawattstunden aus rund 68 Gigawattstunden Biomasse, etwa 50 Gigawattstunden sonstiger erneuerbarer Energien und zirka 105 Gigawattstunden erneuerbarer Fernwärme zusammen. Relevant für die Treibhausgasbilanzierung sind somit rund 380 Gigawattstunden Erdgas, etwa 420 Gigawattstunden elektrischer Strom, zirka 48 Gigawattstunden Kohle und ungefähr 174 Gigawattstunden Heizöl. Ebenso gehen 90% der 1.045 Gigawattstunden Fernwärme (Energie Graz 2016) – 2015 werden 10% der Fernwärme aus erneuerbaren

Quellen erzeugt (Umweltamt Graz et al. 2016) – in die Bilanzierung der Treibhausgase des Bereichs Hausbrand ein (Tabelle 13).

Tabelle 13: Relevanter Gesamtwärmebedarf nach Energieträger für THG-Bilanzierung

Energieträger	GWh
Fernwärme	940,50
Erdgas	381,20
Elektrischer Strom	419,68
Kohle	48,09
Heizöl	173,81
Gesamtwärmebedarf	1.963,28

Quelle: *Energie Graz (2016), Umweltamt Graz et al. (2016), Eigene Berechnungen*

Über die zu verwendenden Emissionsfaktoren für die Energieträger Heizöl, Erdgas und Kohle bei Kleinverbrauchern herrscht bis heute Uneinigkeit, was sich in sehr unterschiedlichen Werten in der Literatur zeigt (Wegener Zentrum et al. 2010a). In der vorliegenden Studie werden die empfohlenen Emissionsfaktoren des österreichischen Umweltbundesamtes (2018a) verwendet. Einzig zum Energieträger Kohle macht das Umweltbundesamt keine Angaben. Daher wird hier auf den Emissionsfaktor aus dem Klimaschutzplan Steiermark (Wegener Zentrum et al. 2010a) zurückgegriffen. Alle Werte repräsentieren den österreichischen Durchschnittsausstoß an Treibhausgasen in Tonnen CO₂äqu pro Gigawattstunde des jeweiligen Energieträgers (Tabelle 14).

Tabelle 14: Emissionsfaktoren für Energieträger

Energieträger	t CO₂äqu/GWh
Fernwärme ^{a, c}	190,00
Erdgas ^a	235,00
Elektrischer Strom ^a	279,00
Kohle ^b	368,70
Heizöl ^a	340,00

Quelle: *Umweltbundesamt (2018a), Wegener Zentrum et al. (2010a)*

^a Stand Juli 2018

^b Stand März 2009

^c Das Fernwärmesystem Graz 2018 gilt als hocheffizient, und es stammen mindestens 80% der Energie aus erneuerbaren Quellen, hocheffizienten KWK-Anlagen im Sinne der RL 2012/27/EU, sonstige Abwärmern oder einer Kombination dieser Energien/Wärmen. Die Summe aus erneuerbaren Quellen und Quellen aus industrieller Abwärme haben 2018 rund 25% betragen.

Industrie und Gewerbe

Bei der Bestimmung der Treibhausgasemissionen aus Industrie und Gewerbe kommen zwei Bezugswerte zur Anwendung. Primär erfolgt die Berechnung über die MitarbeiterInnenanzahl der Betriebe. Daneben werden noch die nicht zugewiesenen 571,32 Gigawattstunden

elektrischer Strom – 80,8% von 991 GWh laut Energie Graz (2016) und Grazer Energieagentur (2013) – und 381,20 Gigawattstunden Erdgas – 40% von 953 GWh laut Energie Graz (2016) – bewertet mit den Emissionsfaktoren in Tabelle 14 aus dem Bereich Hausbrand bilanziert.

Daten zu den unselbständigen Beschäftigten liefert das wirtschaftspolitische Berichts- und Informationssystem (WIBIS) Steiermark (Joanneum Research 2019). Selbständige Beschäftigte werden nicht erfasst und werden daher bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen nicht berücksichtigt. In der WIBIS Datenbank werden die in Stadt Graz ansässigen Betriebe und damit deren MitarbeiterInnen eindeutig einer Wirtschaftsklasse gemäß ÖNACE⁵ 2008 Code zugeordnet. Insgesamt verteilen sich die rund 180.000 Beschäftigten im Jahr 2015 auf 28 Wirtschaftsklassen (Tabelle 15).

⁵ Das Akronym NACE geht auf die französische Bezeichnung *Nomenclature Statistique des Activités Économiques dans la Communauté Européenne* zurück und wird als *Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft* ins Deutsche übersetzt; das „Ö“ in der Abkürzung weist auf die Adaptierung an das österreichische Wirtschaftssystem hin.

Tabelle 15: Wirtschaftsklassen und deren jeweils Beschäftigte in Graz

Wirtschaftsklassen 2008 – ÖNACE	Beschäftigte
Öffent. Verwaltung, Unterrichts-, Gesundheits- u. Sozialwesen	71.862
Wirtschaftsdienste	27.720
Handel, Reparatur	19.993
Sonstige Dienstleistungen	9.145
Bauwesen	7.582
Beherbergung und Gastronomie	6.826
Verkehr und Lagerei	6.072
Finanz- und Versicherungsdienstleistungen	5.908
Fahrzeugbau, sonstiger Fahrzeugbau	4.571
Information und Kommunikation	4.485
Elektrotechnik und Elektronik	3.789
Maschinenbau	3.054
Energie- und Wasserversorg., Entsorgung u. Rückgewinnung	2.151
Möbel, sonst. Waren, Reparatur/Installation v. Maschinen	1.618
Nahrungs-, Futtermittel-, Getränkeherstellung u. Tabakverarbeitung	1.115
Herstellung von Metallerzeugnissen	928
Pharmazeutische Erzeugnisse	718
Primärsektor	419
Druckereierzeugnisse, Vervielfältigung von Datenträgern	321
Metallerzeugung und -bearbeitung	300
Chemische Erzeugnisse	261
Herstellung von Papier/Pappe und Waren daraus	255
Gummi- und Kunststoffwaren	214
Textilien und Bekleidung	205
Herstellung von Holzwaren; Korbwaren	166
Leder, Lederwaren und Schuhe	148
Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen u. Erden	119
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	16
Summe	179.961

Quelle: Joanneum Research (2019)

Die Emissionsfaktoren im Bereich Gewerbe und Industrie entstammen dem Emissionskataster Graz 2001 (Heiden et al. 2008a, 2008b). Heiden et al. (2008a, 2008b) ermittelten Emissionsfaktoren für 18 Fachbereichskategorien durch Befragungen von Grazer Betrieben. Bei Unternehmen mit 20 oder mehr MitarbeiterInnen wurde eine Vollerhebung, bei Betrieben mit weniger als 20 MitarbeiterInnen wurde eine repräsentative Stichprobeerhebung durchgeführt. Fehlende Daten wurden durch Werte aus der Literatur oder aus dem

Emissionskataster Graz 1995 (Pischinger und Sturm 1997) ergänzt. Die erhobenen Emissionsfaktoren sind in Tabelle 16 aufgelistet.

Tabelle 16: MitarbeiterInnen basierte Emissionsfaktoren

Fachbereichskategorie	CO₂ [kg/Beschäftigter]	CH₄ [kg/Beschäftigter]
Baugewerbe	2.609,00	0,05
Druckerei	1.310,00	0,02
Fernheizkraftwerk	4.122,00	0,43
Fremdenverkehr	154,00	0,00
Gartenbau/Landwirtschaft	175,00	4,12
Gaswerk	261,00	0,00
Holzverarbeitung	175,00	0,04
Innenausbau	37,00	0,00
Kunststoffverarbeitung	375,00	0,00
Lösungsmittelindustrie	5.998,00	0,10
Metallverarbeitung	6.703,00	0,11
Nahrungsmittel	7.425,00	0,13
Reststoffbehandlung	118,00	0,00
Steinverarbeitung	1.176,00	0,05
Lagerei, Erdölverarbeitung und Tankstellen	2.904,00	0,06
Sonstige	175,00	0,04
Büro	0,13	0,00
Krankenversorgung und öffentliche Dienstleistungen	32,70	0,00

Quelle: Heiden et al. (2008b)

Ein Problem bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen im Bereich Gewerbe und Industrie ist, dass die Datenquellen unterschiedliche Einteilungssystematiken unterworfen sind. Um die Klassifizierungssysteme miteinander zu verbinden, wurde eine Korrespondenztabelle (Tabelle 46 im Anhang) entwickelt. Eine vollständig willkürfreie, eindeutige Zuordnung von Fachbereichskategorien zu den ÖNACE Wirtschaftsklassen kann aufgrund gänzlich verschiedener Klassifizierungssysteme jedoch nicht gewährleistet werden.

3.2.2 Emissionen der Bereiche Hausbrand und Industrie und Gewerbe

Tabelle 17 stellt die aus der Wärmeerzeugung für Haushalte resultierenden Treibhausgasemissionen dar, während Tabelle 18 die Treibhausgasemissionen der Grazer Industrie- und Gewerbebetriebe listet. Die Emissionen des Bereichs Hausbrand übersteigen die Emissionen des Bereichs Industrie und Gewerbe in Höhe von rund 390.000 Tonnen CO₂äqu um fast 75.000 Tonnen CO₂äqu. Im Bereich Hausbrand können den

Sekundärenergieträgern Elektrizität und Fernwärme rund zwei Drittel der Treibhausgasemissionen zugeordnet werden. Die fossilen Primärenergieträger tragen zu etwa einem Drittel zu den Emissionen bei.

Tabelle 17: Treibhausgasemissionen des Bereichs Hausbrand

Energieträger	t CO₂äqu
Fernwärme	178.695,00
Erdgas	89.582,00
Elektrischer Strom	117.089,59
Kohle	17.730,00
Heizöl	59.096,96
Gesamt	462.193,55

Quelle: Eigene Berechnungen

Im Bereich Gewerbe und Industrie berechnen sich rund 140.000 Tonnen CO₂äqu auf Basis von Mitarbeiter- und Mitarbeiterinnenzahlen der Grazer Betriebe und zirka 250.000 Tonnen CO₂äqu basieren auf Energiekennzahlen. Fokussiert man sich auf die zweite Berechnungsmethode, so entdeckt man ein ähnliches Muster wie im Bereich Hausbrand. Zwei Drittel der Treibhausgasemissionen entfallen auf den Energieträger Elektrizität, während ein Drittel aufgrund der Nutzung von Erdgas entsteht. Bei den MitarbeiterInnenanzahl-basierten Emissionswerten sticht die Metallverarbeitung mit rund 85.000 Tonnen CO₂äqu hervor. Mit einem Anteil von nur 7% an den in Summe in Graz Beschäftigten im Jahr 2015 verursacht die metallverarbeitende Industrie rund 60% der Treibhausgasemissionen dieses Bereichs. Die dienstleistungsgeprägten Bereiche Büro und Krankenhaus emittieren hingegen nur rund 2% der zirka 140.000 Tonnen CO₂äqu, während dort rund 75% aller Beschäftigten zu finden sind. Neben der Metallverarbeitung sind noch das Baugewerbe (~ 11.900 Tonnen CO₂äqu), die Erdölverarbeitung und Tankstellen (~ 17.600 Tonnen CO₂äqu), die Lösungsmittelindustrie (~ 5.900 Tonnen CO₂äqu), das Druckereigewerbe (~ 6.300 Tonnen CO₂äqu) und die nahrungsmittelverarbeitende Industrie (~ 8.300 Tonnen CO₂äqu) Großemittenten.

Tabelle 18: Treibhausgasemissionen des Bereichs Industrie und Gewerbe

Bereich	t CO₂äqu
Metallverarbeitung	84.786,61
Lagerei, Erdölverarbeitung und Tankstellen	17.645,47
Baugewerbe	11.877,81
Nahrungsmittel	8.283,80
Druckerei	6.299,13
Lösungsmittelindustrie	5.875,37
Krankenversorgung und öffentliche Dienstleistungen	2.349,89
Fremdenverkehr	1.051,20
Fernheizkraftwerk	430,93
Holzverarbeitung	359,60
Gaswerk	354,47
Steinverarbeitung	158,99
Gartenbau/Landwirtschaft	132,02
Innenausbau	112,20
Reststoffbehandlung	81,27
Kunststoffverarbeitung	80,25
Sonstige	62,26
Büro	8,16
Zwischensumme 1	139.949,42
Elektrizität	159.399,41
Erdgas	89.582,00
Zwischensumme 2	248.981,41
Gesamtsumme	388.930,83

Quelle: Eigene Berechnungen

Emissionen der Bereiche Hausbrand und Industrie und Gewerbe 1995, 2001 und 2015

Die Treibhausgasemissionen aus den Emissionskatastern Graz 1995 (Pischinger und Sturm 1997), 2001 (Heiden et al. 2008a, 2008b) und dieser Studie sind aufgrund von Änderungen in den Berechnungen der zugrundeliegenden Bezugswahlen nur schwer miteinander vergleichbar. Neben den Modifikationen der Emissionsfaktoren änderten sich auch die MitarbeiterInnenzahlen und deren Zuordnung zu Fachbereichsgruppen und ÖNACE-Codes. Zusätzlich gibt es Unterschiede bei den Schnittstellen zwischen Hausbrand und Industrie und Gewerbe. Der Emissionskataster 1995 weist Betriebe mit weniger als 20 MitarbeiterInnen generell dem Bereich Hausbrand zu, während der Emissionskataster 2001 die Fachbereiche Büro, Krankenhaus und Fremdenverkehr dem Hausbrand zuordnet. Diese Studie wiederum rechnet die drei Fachbereiche Büro, Krankenhaus und Fremdenverkehr dem Bereich Industrie und Gewerbe zu. Durch diese Änderungen erklärt sich ein Teil der Unterschiede sowohl zwischen den Gesamtemissionsmengen als auch innerhalb der Bilanzierungsbereiche.

Tabelle 19 zeigt eine Gegenüberstellung der Treibhausgasemissionen von 1995 (Pischinger und Sturm 1997), 2001 (Heiden et al. 2008a, 2008b) und 2015. Es werden durchgehend kohlendioxidäquivalente Emissionen angegeben, obwohl die Ergebnisse aus den Emissionskatastern 1995 und 2001 keine anderen treibhauswirksamen Gase als Kohlendioxid beinhalten. Jedoch sollte die Integration der Methanemissionen 2015 die Vergleichbarkeit zwischen den Ergebnissen nicht schmälern, da die eingesetzten Technologien in den Bereichen Hausbrand und Gewerbe und Industrie kaum nennenswerte andere Treibhausgasemissionen als Kohlendioxid verursachen (Wegener Zentrum et al. 2010a).

Tabelle 19: Zeitliche Gegenüberstellung der THG-Emissionen der Bereiche Hausbrand, Industrie und Gewerbe (jedoch unter Verwendung jeweils anderer Abgrenzungen, daher keine direkte Vergleichbarkeit möglich; vergleiche Erläuterungen im Fließtext)

[t CO ₂ äqu]	Hausbrand ¹	Industrie und Gewerbe ¹
Pischinger und Sturm: 1995	458.520	281.500
Heiden et al.: 2001	523.000	508.620
Vorliegende Studie: 2015	462.194	388.931

Quelle: Pischinger und Sturm (1997), Heiden et al. (2008a, 2008b), Eigene Berechnungen

¹ Die Abgrenzungen sowohl der Bereiche Hausbrand und Industrie als auch der erfassten Emissionen divergieren über die Jahre 1995, 2001 und 2015 (vgl. Erläuterungen im Fließtext)

In jeder Bilanzierungsperiode sind die dem Hausbrand zugerechneten Emissionen höher als die Emissionen des Bereichs Industrie und Gewerbe. Auffallend ist, dass die Treibhausgasemissionen in beiden Bereichen von 1995 auf 2001 gestiegen sind, um danach von 2001 auf 2015 abzusinken. Gerade die annähernde Rückkehr der Emissionen des Hausbrands 2015 auf das Niveau von 1995 ist beeindruckend, da die Bevölkerung in diesem Zeitraum um rund 18% bzw. rund 42.000 Personen (Stadt Graz 2017) gewachsen ist. Diese Reduktion dürfte auf die Substitution schadstoffreicher Heizungen durch Gasheizungen und Fernwärme zurückzuführen sein. Die Grazer Betriebe schafften 2015 zwar keine Rückkehr zum Emissionsniveau 1995, konnten ihre Emissionen aber trotz Wachstum um beachtliche 24% gegenüber 2001 reduzieren (Tabelle 19).

3.3 Verkehr

Städtische Verkehrssysteme dienen dem Transport von Menschen und Gütern innerhalb der Stadt sowie über deren Grenzen hinaus. Beim Transport via Straße, Schiene, Wasser oder Luft entstehen Treibhausgase entweder direkt durch Verbrennung von Treibstoffen oder indirekt durch die Nutzung von elektrischen Strom (Fong et al. 2014).

Wie kurz in Kapitel 3.2 erwähnt, forciert die Stadt Graz den Ausbau klimaschonender Mobilität und versucht Graz in eine „Stadt der kurzen Wege“ zu verwandeln (Umweltamt Graz 2018).

Erste Erfolge gibt es bereits, wie die letzte Mobilitätserhebung (ZIS+P 2014) zeigt. Etwas mehr als die Hälfte aller Wege legt die Grazer Wohnbevölkerung mit öffentlichen Verkehrsmitteln (Bus und Straßenbahn), dem Fahrrad oder zu Fuß zurück. Die „kleinere“ Hälfte wird mit dem PKW zurückgelegt. Jedoch wäre es falsch das Gesamtverkehrsaufkommen der Grazer Wohnbevölkerung anzulasten, da auch Pendler, Durchreisende und Unternehmen zum Verkehr beitragen. Durch die Einbeziehung dieser Gruppen ändern sich die Anteile der Verkehrsmittel am Verkehrsaufkommen grundlegend. Die Straße wird zum bevorzugten Verkehrsweg, welchen PKW und LKW mit Verbrennungsmotoren dominieren. Der Individualverkehr überwiegt, während der öffentliche Verkehr eine untergeordnete Rolle spielt (Heiden et al. 2008c). Dementsprechend trägt der Verkehr maßgeblich zu den Treibhausgasemissionen der Stadt Graz bei, wie nachfolgende Abschnitte verdeutlichen.

3.3.1 Daten und Methodik im Bereich Verkehr

Der Sektor Verkehr umfasst die innerhalb des Stadtgebietes Graz durch PKW-, LKW- und Bus-Verkehr verursachten Treibhausgasemissionen. Die Emissionen der Grazer Straßenbahnen werden aufgrund von Überschneidungen mit den Bereich Industrie und Gewerbe innerhalb dieses Sektors gesondert ausgewiesen. Eine Bilanzierung der Emissionen aus Zug- und Flugverkehr erfolgt nicht, da einerseits eine konkrete Zuweisung zu den Emissionen der Stadt aufgrund mangelnder Daten nicht möglich, und andererseits der Einfluss der kommunalen Politik auf diese Verkehrsträger als äußerst gering einzustufen ist, wenn auch die Verlagerungsmöglichkeit hin zu diesen Verkehrsträgern durch die Stadt wesentlich mitgestaltet wird. Motorisierter Verkehr auf Wasserwegen und -flächen ist im Grazer Stadtgebiet nicht vorhanden. Daten zu motorisierten, einspurigen Fahrzeugen fehlen und können deshalb nicht berücksichtigt werden.

Die Emissionsmengen des Verkehrs berechnen sich mittels des einfachen, multiplikativen Ansatzes von Emissionsmenge = gefahrene Fahrleistungen pro Fahrzeugkategorie x Emissionsfaktor. Die gefahrenen Fahrleistungen ergeben sich durch Hochrechnung der werktägigen Verkehrsdaten 2016 aus dem Bericht „Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität in Graz“ (Dippold et al. 2018) und in Rücksprache mit den Autoren dieser Studie von der Technischen Universität Graz. An einem Werktag werden rund 4,4 Millionen Fahrzeugkilometer (PKW, LKW und Busse) im Zuge des Binnen-, Quell-, Ziel- und Durchzugsverkehrs im Grazer Stadtgebiet zurückgelegt. An Sams-, Sonn- und Feiertagen reduziert sich diese Fahrleistung um ein Viertel. Berücksichtigt man nun, dass sich ein Jahr in 244 Werktagen und 121 Sonn- und Feiertagen teilt, so ergibt sich eine jährliche Fahrleistung von rund 1,5 Milliarden Fahrzeugkilometern (Tabelle 20).

Tabelle 20: Hochrechnung der Verkehrsleistungen auf ein Jahr

Beschreibung	Wert	Einheit
Verkehrsleistung in Fzg-km pro Werktag im Stadtgebiet Graz	4.351.884	Fzg-km/Tag
Werktage pro Jahr	244	Tage
Abschlag an Samstagen/Sonntagen/Feiertagen	0,25	
Verkehrsleistung pro Sa/So/Feiertag	3.263.913	Fzg-km/Tag
Anzahl Sa/So/Feiertage pro Jahr	121	Tage
Abgeschätzte Verkehrsleistung pro Jahr	1.456.793.169	Fzg-km/Jahr

Quelle: Dippold et al. (2018), Eigene Berechnungen

Laut Dippold et al. (2018, S. 71) werden von der gesamten Verkehrsleistung 82,5% mit PKW, 8,9% mit leichten Nutzfahrzeugen, 3,9% mit LKW ohne Anhänger und 4,3% mit Last- und Sattelzügen zurückgelegt. Der Rest entfällt auf Reise- und Linienbusse. Durch Gruppierung dieser sechs Fahrzeugkategorien soll ein Vergleich der Ergebnisse mit den Emissionskatastern 1995 und 2001 möglich werden. Die Gruppe PKW entsteht durch das Zusammenführen der Klassen PKW und leichte Nutzfahrzeuge. LKW ohne Anhänger und Last- und Sattelzüge formieren die Gruppe LKW. Linien- und Reisebusse bilden die Gruppe Bus. Die Fahrleistungen verteilen sich sodann auf die Gruppen wie in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21: Verkehrsleistung 2016 in Fahrzeugkilometern

Fahrzeugkategorie (Gruppe)	Fahrleistung in Kilometer
PKW	1.331.224.631,65
LKW	119.376.794,88
Bus	6.191.742,47
Summe	1.456.793.169,00

Quelle: Dippold et al. (2018), Eigene Berechnungen

Für die Emissionsfaktoren steht als Datenquelle die im Zuge des Klimaschutzplans Steiermark verfasste Studie „Erstellung globaler Emissionsdaten für Österreichische Kfz von 1950 bis 2030“ Technischen Universität Graz (Hausberger 2010) zur Verfügung. Die in diesem Bericht genannten Emissionsfaktoren berücksichtigen neben der Flottenzusammensetzung (nach Fahrzeugklasse, Größenklasse, Antriebsart und Baujahr) und jenen Emissionen, die während der Fahrt im warmen Motorbetriebszustand über den Auspuff frei werden, noch Kaltstart-, Warm- bzw. Heißabstellemissionen. Warm- bzw. Heißabstellemissionen treten innerhalb einer Stunde nach dem Abstellen eines Fahrzeuges auf. Kaltstartemissionen entstehen immer dann, wenn Fahrzeugmotoren noch nicht Betriebstemperatur erreicht haben (Heiden et al. 2008c). Tabelle 22 zeigt die entnommen Emissionsfaktoren für das Jahr 2016.

Tabelle 22: Emissionsfaktoren 2016 für unterschiedliche Fahrzeugklassen

[g/km]	PKW	LKW	Bus
CO ₂	145,707	674,100	567,437
CH ₄	0,003	0,009	0,011
N ₂ O	0,005	0,005	0,005

Quelle: Hausberger (2010)

3.3.2 Emissionen des Verkehrs

In Tabelle 23 werden die jährlichen, verkehrsbedingten Emissionen der Treibhausgase Kohlendioxid, Methan, Lachgas getrennt sowie über CO₂-Äquivalente aggregiert für das Jahr 2016 angeführt. Zusätzlich werden die berechneten Gesamtemissionen nach Fahrzeugkategorien (PKW, LKW und Bus) unterteilt. Auf dieser Grundlage ist mit einer jährlichen Menge von CO₂-Verkehrsemissionen von rund 273.000 Tonnen zu rechnen, die im Stadtgebiet von Graz (bzw. der durch dieses verlaufende Autobahn) anfällt. Rund 72% der CO₂-Emissionen sind dem PKW-Verkehr, ca. 26% dem LKW-Verkehr und ca. 2% dem Bus-Verkehr zuzuordnen. In Bezug auf Methan und Lachgas werden rund fünf Tonnen an CH₄ und rund sechs Tonnen an N₂O berechnet. Sowohl bei Methan als auch bei Lachgas sind die Emissionen größtenteils (80% bzw. 90%) dem PKW-Verkehr zuzuordnen.

Tabelle 23: Treibhausgasemissionen des Verkehrs 2016

Emissionsquelle	t CO ₂	t CH ₄	t N ₂ O	t CO ₂ äqu
PKW	189.628,08	4,18	5,81	191.998,91
LKW	79.770,52	1,03	0,47	79.966,24
Bus	3.469,78	0,06	0,03	3.488,10
Gesamt	272.868,38	5,28	6,32	275.453,25

Quelle: Hausberger (2010), Dippold et al. (2018), eigene Berechnungen

Emissionen des Verkehrs 1995, 2001 und 2015 im Vergleich

In Hinblick auf die gesamten, in Tabelle 24 angeführten Fahrleistungen ist deutlich ersichtlich, dass der Verkehr über die Zeit zugenommen hat, sein Maximum jedoch im Jahr 2011 erreichte. Betrug die Fahrleistung 1995 noch rund 1.150 Millionen Kilometer, stieg sie bis 2011 auf rund 1.535 Millionen Kilometer an. Im Jahr 2016 konnte ein Rückgang von rund 80 Millionen Kilometer gegenüber 2011 verzeichnet werden, allerdings mit einer Anteilserhöhung des LKW-Verkehrs. Relativ betrachtet, bleibt die Verteilung der Fahrleistung ansonsten auf die drei Fahrzeugklassen über die Zeit annähernd gleich. Rund 90% der Fahrleistungen sind dem PKW-Verkehr zuzuordnen, während der Rest auf den LKW- und Busverkehr entfällt. Jedoch nimmt die Bedeutung des Schwerverkehrs (LKW) über die Zeit zu.

Tabelle 24: Zeitliche Gegenüberstellung der Fahrleistung

[Mio Fzg-km]	1995	2003	2010	2011	2016
PKW	1.059,82	1.187,00	1.297,35	1.433,88	1.331,22
LKW	78,07	89,00	103,63	93,85	119,38
Bus	11,00	11,00	6,34	8,14	6,19
Gesamt	1.148,89	1.287,00	1.407,31	1.535,87	1.456,79

Quelle: Pischinger und Sturm (1997), Heiden et al. (2008a, 2008c), Wolking et al. (2018), Dippold et al. (2018), Eigene Berechnungen

Im Gegensatz zu den Fahrleistungen sind die Emissionen an Kohlendioxid und Methan nicht kontinuierlich gestiegen. Die CO₂-Emissionen erreichten ihren Höchststand mit rund 356.000 Tonnen im Jahr 2010 und sind danach stetig auf rund 273.000 Tonnen im Jahr 2016 gefallen (Tabelle 25). Damit sind die CO₂-Emissionen 2016 niedriger als sie es 1995 (297.315 Tonnen) waren. Tabelle 26 zeigt, dass die CH₄-Emissionen von ihrem Höchststand von 23,4 Tonnen im Jahr 1995 auf 8,7 Tonnen im Jahr 2003 fielen um danach bis 2010 wieder zu steigen. Vom zweiten Hoch mit 14,2 Tonnen im Jahr 2010 fielen die CH₄-Emissionen stetig und erreichten ihren bisherigen Tiefstand von fünf Tonnen im Jahr 2016. Die Emissionen der beiden Treibhausgase erlebten die Trendumkehr 2010/2011. Die Reduktion der Treibhausgasemissionen nach 2010 ist insbesondere auf Veränderungen im PKW-Verkehr (insbesondere Flottenzusammensetzung) zurückzuführen, da die Emissionen des LKW- und Busverkehrs zusammen in diesem Zeitraum annähernd konstant verlaufen.

Tabelle 25: Zeitliche Gegenüberstellung der CO₂-Emissionen des Verkehrs

[t CO₂]	1995	2003	2010	2011	2016
PKW	215.286,0	231.430,0	267.636,6	265.623,0	189.628,1
LKW	69.178,0	67.286,0	82.290,6	67.400,0	79.770,5
Bus	12.851,0	11.528,0	5.552,3	6.649,0	3.469,8
Gesamt	297.315,0	310.244,0	355.479,5	339.672,0	272.868,4

Quelle: Pischinger und Sturm (1997), Heiden et al. (2008a, 2008c), Wolking et al. (2018), Dippold et al. (2018), Eigene Berechnungen

Tabelle 26: Zeitliche Gegenüberstellung der CH₄-Emissionen des Verkehrs

[t CH₄]	1995	2003	2010	2011	2016
PKW	19,5	6,5	13,2	6,8	4,2
LKW	3,0	1,7	0,9	0,9	1,0
Bus	0,9	0,5	0,1	0,1	0,1
Gesamt	23,4	8,7	14,2	7,8	5,3

Quelle: Pischinger und Sturm (1997), Heiden et al. (2008a, 2008c), Wolking et al. (2018), Dippold et al. (2018), Eigene Berechnungen

Treibhausgasemissionen des elektrifizierten Personennahverkehrs

Um auch den Treibhausgasemissionen des elektrifizierten Verkehrs Rechnung zu tragen, werden hier die Emissionen der Straßenbahn in Graz erfasst. Die Berechnungen basieren auf den Daten aus den Geschäftsberichten der Holding Graz (2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017b) und folgen der Methode von Wolkinger et al. (2018). Wolkinger et al. (2018) wandeln die zurückgelegten Wagenkilometer mit einem Faktor von rund 30 [Pkm/Wagenkm] in Personenkilometer um, welche wiederum durch Multiplikation (Faktor 0,06 [kWh/Pkm]) in Energieverbrauch in Kilowattstunden transferiert werden. Schlussendlich ergeben sich die Emissionen durch Gewichtung des Energieverbrauchs mit einem Emissionsfaktor von 0,21 [t CO₂äqu/kWh]. Diese Emissionen werden nicht in den obigen Bilanzen inkludiert, da es aufgrund von Überlappungen der Bereiche Industrie und Gewerbe und Verkehr zu Doppelzählungen der Treibhausgasemissionen kommen würde.

Die Treibhausgasemissionen der Straßenbahn steigen über den Zeitraum von 2010 bis 2016 stetig von rund 1.165 Tonnen CO₂äqu auf zirka 1.258 Tonnen CO₂äqu an, wie Tabelle 27 zeigt. Dies ist einerseits auf die steigende Anzahl an Fahrgästen und andererseits auf den Ausbau des Liniennetzes (Linie 3, 6 und 7) zurückzuführen.

Tabelle 27: Zeitlicher Gegenüberstellung von Daten der Grazer Straßenbahn

Jahr	Fahrleistung [1.000 Fzg-km]	Fahrleistung [1.000 Pkm]	Energieverbrauch [MWh]	CO ₂ äqu [t]
2010	3.198,40	93.613,46	5.547,68	1.165,01
2011	3.285,85	96.172,99	5.699,36	1.196,87
2012	3.270,15	95.713,38	5.672,13	1.191,15
2013	3.317,61	97.102,68	5.754,46	1.208,44
2014	3.357,17	98.260,44	5.823,07	1.222,84
2015	3.357,29	98.264,15	5.823,29	1.222,89
2016	3.454,89	101.120,64	5.992,57	1.258,44

Quelle: Holding Graz (2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017a, 2017b), Wolkinger et al. (2018), Eigene Berechnungen

3.4 Produktionsbasierte Treibhausgasemissionen der Stadt Graz 2015

Die produktionsbasierten Emissionen ergeben sich aus der Summe der Emissionen der vier betrachteten Bereiche Hausbrand, Industrie und Gewerbe, Verkehr und Abfall und Abwasser. Insgesamt emittieren im Jahr 2015 produktionsseitig rund 1,2 Millionen Tonnen CO₂äqu in Graz. Tabelle 28 zeigt dieses Ergebnis, unterteilt nach den vier berücksichtigten Bereichen, und stellt die prozentuellen Anteile der Bereiche an den Gesamtemissionen grafisch dar. Im Bereich Hausbrand entstehen die meisten Emissionen (39,5%), gefolgt von den Bereichen

Industrie und Gewerbe (33,2%) und Verkehr (23,5%). Der Bereich Abfall und Abwasser spielt mit einem Anteil von nur rund vier Prozent an den Gesamtemissionen eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 28: THG-Emissionen 2015 produktionsseitig bilanziert

Bereich	t CO ₂ äqu	Anteil in Prozent
Hausbrand	462.193,55	39,50
Industrie und Gewerbe	388.930,83	33,24
Verkehr	275.453,25	23,54
Abfall und Abwasser	43.632,57	3,73
Gesamtemissionen	1.170.210,20	100,00

Quelle: Eigene Berechnungen

Produktionsbasierte THG-Emissionen im Vergleich über Zeit und Raum

Beurteilungen und Betrachtungen von zeitlichen Entwicklungen und in Bezug auf räumliche Referenzwerte sind notwendig, um die Relevanz und Verlässlichkeit der bilanzierten Emissionen überprüfen und Aussagen zu ihren Veränderungen treffen zu können. Jedoch wird der Vergleich aufgrund von unterschiedlichen Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren sowie Berechnungsmethoden erschwert. Um den Effekt anderer Methodiken herausfiltern zu können, müssten die Emissionen vergangener Perioden und anderer geografischer Regionen mit den aktuellen Methoden erneut berechnet werden. Aus zeitlichen und finanziellen Gründen ist dies nicht möglich und so werden die Daten aus den Emissionskatastern (Heiden et al. 2008a; Pischinger und Sturm 1997) und der Bundesländerschadstoffinventur (Umweltbundesamt 2018b) unverändert übernommen.

Die Betrachtung der gesamten, klimarelevanten Emissionsmengen der Stadt Graz über die Jahre 1995 (Pischinger und Sturm 1997), 2001 (Heiden et al. 2008a) und 2015 zeigt, dass die Treibhausgasemissionen zwischen 1995 und 2001 gestiegen und zwischen 2001 und 2015 gesunken sind (Tabelle 29). 2015 sind die Gesamtemissionen um rund 14% höher als sie es 1995 waren. Berücksichtigt man aber, dass 1995 die Emissionen des Bereichs Abfall und Abwasser nicht erfasst wurden, so beträgt die Steigerung knapp 10%. Im Vergleich zu 2001 sind 2015 die Emissionen aller Bereiche geringer, was auf Änderungen im Wärmeversorgungsmix, der Herstellungsprozesse der Unternehmen und der Fahrzeugflottenzusammensetzung zurückzuführen ist. Nähere Ausführungen finden sich dazu in den Kapiteln 3.2.2 und 3.3.2

Tabelle 29: Gegenüberstellung der produktionsbasierten Emissionen in Graz 1995, 2001 und 2015 (wie im Fließtext erläutert, verwenden die Bilanzierungen der einzelnen Jahre jedoch unterschiedliche Abgrenzungen sowohl hinsichtlich sektoraler Gliederung als auch erfasster Emissionen; die Vergleichbarkeit ist damit bestenfalls eingeschränkt möglich)

[t CO₂äqu]	1995	2001	2015
Hausbrand	458.520	523.000	462.194
Industrie und Gewerbe	281.500	508.620	388.931
Verkehr	267.810	296.500	275.453
Abfall und Abwasser	-	-	43.633
Gesamt	1.026.995	1.328.130	1.170.210

Quelle: Pischinger und Sturm (1997), Heiden et al. (2008a), Eigene Berechnungen

Tabelle 30 listet die produktionsbasierten Treibhausgasemissionen pro Kopf für Österreich, die Steiermark und die Städte Wien und Graz 2015. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Emissionen einer Grazerin/eines Grazers deutlich unter den österreichischen und steirischen Pro-Kopf-Emissionswerten liegen und ähnlich hoch wie jene einer Wienerin/eines Wieners sind. Dies ist ein Indiz für gravierende Unterschiede in den wirtschaftlichen Strukturen von Bund, Land und Stadt. Abschätzungen von städtischen Emissionswerten durch Umlegung von Länder- oder Bundesdaten mittels Bevölkerungsschlüssel sind daher mit großer Vorsicht zu betrachten. Schlussendlich bestätigt der Vergleich zu einem bestimmten Grad das Resultat von Dodman (2009, S. 199): Städte verursachen – auf Basis produktionsbasierter Berechnung – weniger Treibhausgasemissionen als das Land in dem sie liegen. Gut-geplante, energieeffiziente Städte mit guten öffentlichen Verkehrssysteme können damit zur Lösung des Klimawandelproblems beitragen.

Tabelle 30: Gegenüberstellung der produktionsbasierten THG-Emissionen 2015 für ausgewählte Regionen

Geografische Region	t CO₂äqu/Kopf
Österreich	9,1
Steiermark	11,0
Wien	4,4
Graz	4,1

Quelle: Umweltbundesamt (2018b), Stadt Wien (2017), Eigene Berechnungen

4. Konsumbasierte Treibhausgasbilanzierung Graz 2015

Im Gegensatz zur Bilanzierung aus Kapitel 3, welche die städtische Güterproduktion zur Belieferung der innerstädtischen, nationalen und internationalen Märkte als Verursacher der Treibhausgasemissionen betrachtet, macht die konsumbasierte Sichtweise die stadtansässigen EndverbraucherInnen für den Ausstoß der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Treibhausgasemissionen aus der Produktion von Exportgütern fallen somit aus der Betrachtung heraus, während nun Treibhausgasemissionen aufgrund des Konsums von Importgütern sehr wohl bilanziert werden. Die konsumbasierte Betrachtungsweise ist für die Stadt Graz ein Novum, sodass auf keine Vergleichswerte aus der Vergangenheit zurückgegriffen werden kann. Die Berechnung erfolgt für 20 Konsumgüterklassen.

4.1 Datenlage, Datenanpassung und Bilanzierungsmethodik

Die Berechnung der konsumbasierten Emissionsmengen erfolgt wie bei der produktionsbasierten Bilanzierung mit dem einfachen multiplikativen Ansatz $\text{Emissionsmenge} = \text{Aktivitätsdaten} \times \text{Emissionsfaktor}$. Die Aktivitätsdaten entsprechen den Endnachfragen der privaten und der öffentlichen (Schulen, Universitäten, Gerichte, Krankenhäuser etc.) Haushalte sowie der Unternehmen in Form von Investitionen. Als Datenquelle für die Endnachfrage der privaten Haushalte dient die Konsumerhebung 2014/15 der Statistik Austria (2016), insbesondere jene für Gemeinden mit mehr als 100.000 Einwohnern (ohne Wien; das sind 2015 Graz, Linz, Salzburg und Innsbruck laut dem österreichischen Städtebund 2016). Somit erlaubt die Datenlage keine expliziten Auswertungen für Graz alleine, sondern für einen auf die Größe der Stadt Graz bezogenen Durchschnitt über die Städte Graz, Linz, Salzburg und Innsbruck. Die Endnachfragen der öffentlichen Haushalte und der Unternehmen werden aus der Studie „Austria's Consumption-Based Greenhouse Gas Emissions“ (Steininger et al. 2018) ermittelt, welche im Zuge des Projekts INNOVATE⁶ (Innovative Climate Policy Instruments to Reduce Consumption-Based Emissions) erstellt wurde. Als Quelle für die Emissionsfaktoren wird ebenfalls Steininger et al. (2018) herangezogen.

Die Datenquellen unterscheiden sich hinsichtlich verwendeter Güterklassifizierung, Währung und geografischer Auflösung, sodass zahlreiche Anpassungen nötig sind, um die Kompatibilität der Daten herzustellen und die Berechnung der konsumbasierten Treibhausgasbilanz für Graz zu ermöglichen. Die verwendeten Daten aus dem Projekt INNOVATE basieren auf den umweltorientierten Input-Output-Tabellen des Global Trade

⁶ Nähere Informationen unter <http://wegcwww.uni-graz.at/wp/innovate/> und <https://www.klimafonds.gv.at/projekte/>.

Analysis Project (GTAP) und der EXIOBASE, beziehen sich auf das Jahr 2011, sind in US-Dollar angegeben und unterliegen der GTAP typischen Produktionsgüterklassifizierung. Hingegen beziehen sich die Daten der Konsumerhebung (Statistik Austria 2016) auf das Jahr 2015, nutzen die Konsumgüterklassifizierung CPA und werden als Ausgaben in Euro pro Haushalt dargestellt.

Im ersten Schritt der Datenanpassung werden daher alle Werte in Euro umgerechnet und auf das Jahr 2015 geführt. GTAP verwendet bei Erstellung seiner Input-Output-Tabellen einen Wechselkurs, der unter Verwendung der Atlas-Methode der Weltbank ermittelt wird. Ziel der Atlas-Methode ist es, jegliche durch Inflation ausgelöste Wechselkursänderungen zu eliminieren und einen möglichst stabilen Wechselkurs zu schaffen. Der Atlas-Wechselkurs eines Landes und eines Jahres entspricht dem Durchschnitt der landesspezifischen Wechselkurse aus dem jeweiligen Jahr und jener aus den zwei vorhergehenden Jahren, welcher noch um das Verhältnis zwischen landesspezifischer Inflationsrate und der internationalen Inflationsrate angepasst wird. Die landesspezifische Inflationsrate entspricht der Änderung des BIP-Deflators, während die internationale Inflation durch die Änderung des SDR-Deflators bestimmt wird. Der SDR-Deflator entspricht dem gewichteten Durchschnitt der BIP-Deflatoren (in SDR Einheiten) von China, Japan, dem Vereinigten Königreich, den Vereinigten Staaten und der Eurozone, und wird in US-Dollar konvertiert angegeben; die Gewichte bei der Durchschnittsberechnung entsprechen dem Wert jeder Währung in SDR-Einheiten. (Weltbank o. J.). Tabelle 31 zeigt den ermittelten Atlas-Wechselkurs.

Tabelle 31: Wechselkurs gemäß Atlas-Methode

Ermittlung		Wert		
$e_t^{\text{atlas}} = \frac{1}{3} \left[e_t + e_{t-1} \left(\frac{r_{t-1}}{r_{t-1}^{\text{SDR\$}}} \right) + e_{t-2} \left(\frac{r_{t-2}}{r_{t-2}^{\text{SDR\$}}} \right) \right]$		0,89		
	Jahr	2011 (t)	2010 (t-1)	2009 (t-2)
r_{t-n}	= Inflationsfaktor via BIP-Deflator	1,00	1,83	1,60
$r_{t-n}^{\text{SDR\$}}$	= Inflationsfaktor via SDR-Deflator	1,00	1,62	1,05
e_t	= Wechselkurs: USD je EUR	0,72	0,75	0,72

Quelle: Österreichische Nationalbank (2018), Weltbank (2018a), Weltbank (2018b), eigene Berechnungen

Die Anwendung dieses Wechselkurses auf die Emissionsfaktoren des INNOVATE-Projekts liefert die Treibhausgasemissionen je ausgegebenen Euro in Österreich 2011. Durch Inflationsbereinigung – basierend auf dem Verbraucherpreisindex (VPI, It. Statistik Austria 2019b) – ergeben sich die in Tabelle 32 angeführten Emissionsfaktoren für 2015. Die Idee hinter dieser Inflationsbereinigung ist, dass jeder ausgegebene Euro in 2015 weniger Treibhausgasemissionen verursacht als derjenige in 2011. Auch die Euro-Werte für die

Endnachfragen der öffentlichen Haushalte und Unternehmen werden mit Hilfe des Atlas-Wechselkurses aus den INNOVATE-Daten gewonnen.

Tabelle 32: Emissionsfaktoren für Konsumausgaben

Verbrauchsgüterklasse	t CO₂äqu/Million €
Landwirtschaftliche Erzeugnisse	500,79
Erzeugnisse der Forstwirtschaft und Fischerei	949,13
Bergbauerzeugnisse	0,44
Lebensmittel	323,09
Textilien	362,98
Holz, Holzwaren und Kork	435,26
Papier, Pappe und Waren daraus; Druckereidienstleistungen	353,73
Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	820,90
Gummi- und Kunststoffwaren	590,65
Glas- und Glaswaren, Keramik, verarbeitete Steine und Erden	1.283,83
Metalle und Metallerzeugnisse	648,75
Kraftwagen und Kraftwagenteile	389,07
Maschinen	385,07
Elektrische Ausrüstungen	490,51
Elektrischer Strom	1.825,52
Gebäude und Bauarbeiten	329,12
Handelsleistungen	234,82
Dienstleistungen ¹	112,52
Öffentliche Dienstleistungen ²	132,30
Verkehrsleistungen	577,14

Quelle: Steininger et al. (2018), eigene Berechnungen

¹ Beherbergungs-, Gastronomie-, Informations-, Kommunikations-, Finanz- und Versicherungsdienstleistungen, Dienstleistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens, wissenschaftliche, freiberufliche, technische und sonstige wirtschaftliche Dienstleistungen

² Bildung, Gesundheit, Verteidigung, Verwaltung, Kunst

Im zweiten Schritt der Anpassung erfolgt die Skalierung der Daten auf die Stadt Graz. Die im ersten Schritt ermittelten Endnachfragen der öffentlichen Haushalte und der Unternehmen Österreichs werden mittels des Bevölkerungsverhältnisses von Graz zu Österreich in 2015 laut Stadt Graz (2017) und Statistik Austria (2019a) heruntergerechnet. Dabei wird unterstellt, dass die Ausgaben der öffentlichen Haushalte und die Investitionen der Unternehmen von 2011 bis 2015 konstant bleiben und der österreichische Durchschnitt für Graz repräsentativ ist. Die Konsumausgaben der privaten Haushalte laut Statistik Austria (2016) werden mittels der Anzahl der Grazer Haushalte (137.098 lt. Statistik Austria 2017) hochgerechnet. Tabelle 33 listet als Ergebnis sowohl die gesamte Endnachfrage als auch die Endnachfrage gegliedert

nach privaten und nach öffentlichen Haushalten sowie nach Unternehmen für 20 Verbrauchsgüterklassen auf.

Tabelle 33: Endnachfrage der privaten und öffentlichen Haushalte sowie der Unternehmen in Graz

Verbrauchsgüterklasse	Endnachfrage in 1.000 €			
	Private Haushalte	Öffentliche Haushalte	Unternehmen	Gesamt
Landwirtschaftliche Erzeugnisse	89.472	1.058	4.515	95.044
Erzeugnisse der Forstwirtschaft und Fischerei	14.054	11	111	14.176
Bergbauerzeugnisse	2.417	0	0	2.417
Lebensmittel	578.991	919	2	579.912
Textilien	288.986	775	351	290.112
Holz, Holzwaren und Kork	4.033	0	86	4.118
Papier, Pappe und Waren daraus; Druckereidienstleistungen	78.034	14	6	78.055
Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	178.748	0	0	178.748
Gummi- und Kunststoffwaren	159.492	1.137	6	160.634
Glas- und Glaswaren, Keramik, verarbeitete Steine und Erden	13.565	0	3.346	16.911
Metalle und Metallerzeugnisse	23.164	0	68.617	91.780
Kraftwagen und Kraftwagenteile	197.530	7	181.504	379.041
Maschinen	65.738	1	312.527	378.267
Elektrische Ausrüstungen	262.167	101	97.602	359.870
Elektrischer Strom	120.027	0	0	120.027
Gebäude und Bauarbeiten	50.092	3	1.569.603	1.619.698
Handelleistungen	417.993	1.622	12.167	431.782
Dienstleistungen ¹	1.393.469	54.407	359.105	1.806.981
Öffentliche Dienstleistungen ²	191.590	2.287.801	21.056	2.500.446
Verkehrsleistungen	333.324	21.903	2.248	357.475
Summe	4.462.885	2.369.760	2.632.850	9.465.496

Quelle: Statistik Austria (2016), Steininger et al. (2018), Eigene Berechnungen

¹ Beherbergungs-, Gastronomie-, Informations-, Kommunikations-, Finanz- und Versicherungsdienstleistungen, Dienstleistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens, wissenschaftliche, freiberufliche, technische und sonstige wirtschaftliche Dienstleistungen

² Bildung, Gesundheit, Verteidigung, Verwaltung, Kunst

Im dritten Schritt der Datenanpassung, welcher parallel zu den ersten beiden Schritten verläuft, werden die Güterklassifizierungen zusammengeführt. Nachdem es keine direkte Korrespondenz zwischen der Konsumgüterklassifizierung CPA und der Produktionsgüterklassifizierung aus INNOVATE gibt, kann die Zusammenführung nur über mehrere Brückentabellen und in Abstimmung der Systematiken untereinander erfolgen.

Zunächst werden die CPA Konsumgütergruppen mittels der bei den Input-Output-Tabellen der Statistik Austria beiliegenden Brückentabelle in die COICOP⁷ bzw. in die verwandte NACE Systematik übergeführt. Es folgt die Reklassifizierung der COICOP-/NACE-Produktgruppen mit Hilfe der Brückentabelle (Tabelle 47 im Anhang) von Rueda-Cantuche et al. (2010). Die dadurch erhaltene Klassifizierung gemäß GTAP kann nun mittels der INNOVATE-GTAP-Korrespondenz (Tabelle 48 im Anhang) in die INNOVATE-Klassifizierung übergeführt werden. Aufgrund von Datenlücken bzw. Ungenauigkeiten in den Brückentabellen wird der Überführungsprozess von Aggregationen und Disaggregationen begleitet. So müssen bei der Klassifizierung von CPA auf COICOP die Gruppen 02.1 und 02.2 zu einer Gruppe, und die Gruppen 03.1 und 03.2 zu einer Gruppe zusammengeführt werden. Eben gleiches gilt für die Gruppen 05.1 bis 05.6, für die Gruppen 06.1, 06.2 und 06.3, für die Gruppen 08.1, 08.2 und 08.3, für die Gruppen 09.2 und 09.3, für die Gruppen von 10.1 bis 10.5, für die Gruppen 11.1 und 11.2, sowie für die Gruppen 12.4, 12.6 und 12.7. Die GTAP-COICOP-Korrespondenz ordnet den 57 GTAP Produktklassen die 26 COICOP Produktgruppen zu. Ist die Zuteilung zwischen COICOP und GTAP uneindeutig, wird die jeweilige Produktgruppe der einen Klassifizierung gleichmäßig auf die in der Korrespondenz genannten Produktgruppen der anderen Klassifizierung aufgeteilt. Schlussendlich müssen noch die INNOVATE-Produktgruppen AVEG und AMEA zu einer Gruppe, COA, OIL und GAS zu einer Gruppe, VEG und MEA zu einer Gruppe, sowie I_S und MET zu einer Gruppe aggregiert werden, damit der Übergang von der CPA-Klassifizierung auf die INNOVATE-Klassifizierung möglich wird. Abbildung 5 fasst nochmals alle Schritte der Datengewinnung und Anpassung bei der konsumbasierten Bilanzierung grafisch zusammen.

⁷ COICOP steht für „Classification of Individual Consumption by Purpose“ und ist eine international angewandte Gliederung, die den Konsum der privaten Haushalte nach dem Zweck der Verwendung in zwölf Hauptgruppen unterteilt.

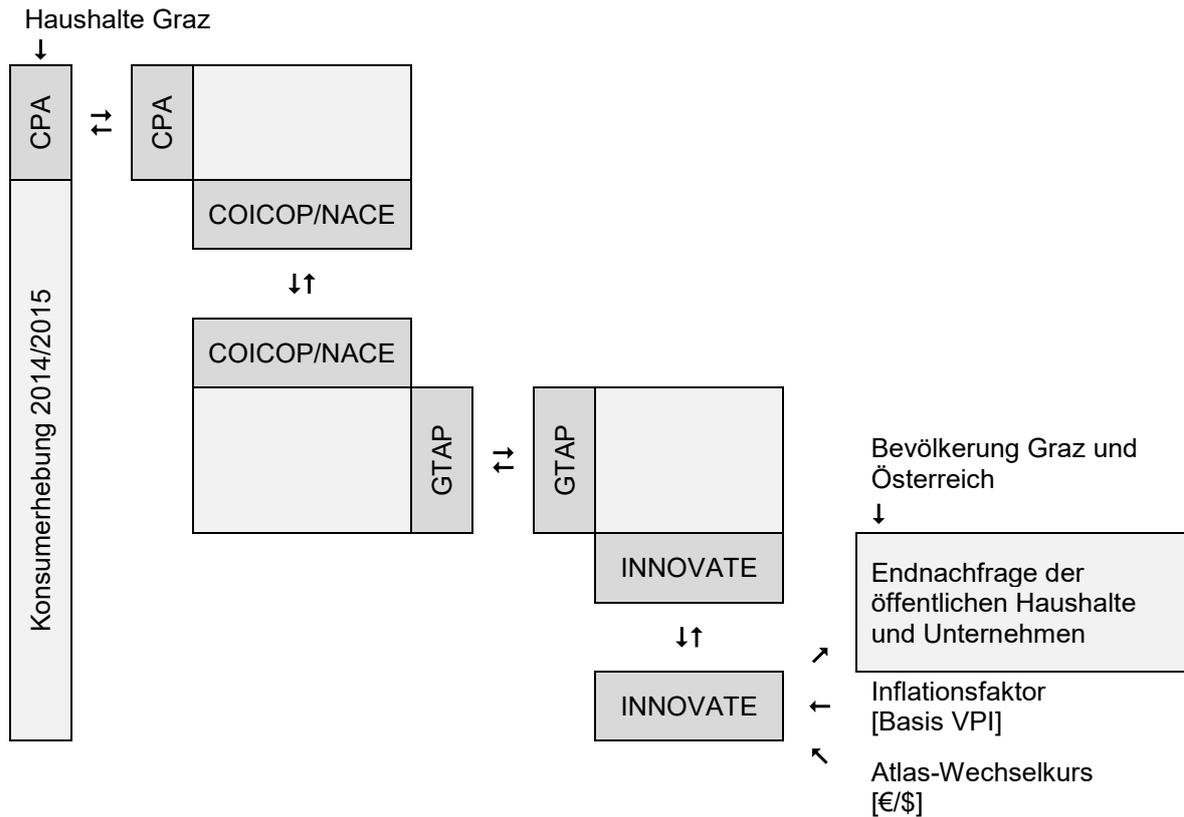


Abbildung 5: Datengewinnung und -anpassungen bei der konsumbasierten Bilanzierung
 Quelle: Eigene Darstellung

4.2 Konsumbasierte Treibhausgasemissionen der Stadt Graz 2015

Die konsumbasierten Emissionen ergeben sich aus der Summe der Treibhausgasemissionen aufgrund der Endnachfrage (Konsum privater Haushalte, Investitionsnachfrage, öffentlicher Konsum) in den 20 betrachteten (Konsum)güterklassen. Insgesamt wurden im Jahr 2015 nachfrageseitig (oft vereinfachend „konsumseitig“ genannt) rund 2,8 Millionen t CO₂äqu in Graz emittiert. Tabelle 34 zeigt dieses Ergebnis, unterteilt nach den 20 berücksichtigten Konsumgüterklassen, und stellt die prozentuellen Anteile der Konsumgüterklassen an den Gesamtemissionen grafisch dar. Die Top 10 Emissionstreiber sind Gebäude und Bauarbeiten (~19,2%), öffentliche Dienstleistungen (~12%), elektrischer Strom (~7,9%), Verkehrsleistungen (~7,5%), Dienstleistungen (~7,3%), Lebensmittel (~6,8%), elektrische Ausrüstungen (~6,4%), Kraftwagen und Kraftwagenteile (~5,3%), Kokerei- und Mineralölerzeugnisse (~5,3%), sowie Maschinen (~5,3%). Die Befriedigung der Endnachfrage nach den restlichen 10 Konsumgüterklassen trägt mit nur rund 17,1% zu den konsumbasierten Treibhausgasemissionen der Stadt Graz 2015 bei.

Tabelle 34: CO₂äqu-Emissionen 2015 konsumseitig bilanziert

Verbrauchsgüterklasse	t CO ₂ äqu	Anteil in Prozent	
Gebäude und Bauarbeiten	533.074,73	19,24	
Öffentliche Dienstleistungen ¹	330.820,84	11,94	
Elektrischer Strom	219.111,65	7,91	
Verkehrsleistungen	206.313,80	7,45	
Dienstleistungen ²	203.312,86	7,34	
Lebensmittel	187.365,48	6,76	
Elektrische Ausrüstungen	176.520,33	6,37	
Kraftwagen und Kraftwagenteile	147.473,01	5,32	
Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	146.733,26	5,30	
Maschinen	145.659,74	5,26	
Textilien	105.304,03	3,80	
Handelsleistungen	101.392,83	3,66	
Gummi- und Kunststoffwaren	94.878,38	3,42	
Metalle und Metallerzeugnisse	59.542,53	2,15	
Landwirtschaftliche Erzeugnisse	47.597,30	1,72	
Papier, Pappe und Waren daraus;	27.609,96	1,00	
Glas- und Glaswaren, Keramik	21.710,49	0,78	
Erzeugnisse der Forstwirtschaft und Fischerei	13.455,34	0,49	
Holz, Holzwaren und Kork	1.792,52	0,06	
Bergbauerzeugnisse	1.057,54	0,04	
Summe	2.770.726,60	100,00	

Quelle: Eigene Berechnungen

¹ Bildung, Gesundheit, Verteidigung, Verwaltung, Kunst

² Beherbergungs-, Gastronomie-, Informations-, Kommunikations-, Finanz- und Versicherungsdienstleistungen, Dienstleistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens, wissenschaftliche, freiberufliche, technische und sonstige wirtschaftliche Dienstleistungen

Die konsumbasierten Treibhausgasemissionen von Graz 2015 entsprechen somit knapp dem 2,37-fachen des Ergebnisses der produktionsbasierten Bilanz 2015. Für die Stadt Graz liegt dieses Verhältnis damit höher als jener Wert, den die C40 (2018) als Durchschnittswert für das Verhältnis von konsumbasierten städtischen zu produktionsbasierten städtischen Emissionen mit 1,7 angibt. Vergleicht man hingegen die konsumbasierten Pro-Kopf-Emissionen von Graz 2015 in Höhe von rund 9,66 t CO₂äqu mit den konsumbasierten 9,6 t CO₂äqu je ÖsterreicherIn in 2011 laut Steininger et al. (2018), so scheint der durchschnittliche Emissionsausstoß eines Grazers/einer Grazerin durch das durchschnittliche konsumbasierte Pro-Kopf-Emissionsniveau Österreichs repräsentiert werden zu können, zumindest im Aggregat, über alle Konsumgüter und der durch sie implizierten Emissionen.

5. Treibhausgasbudgetierung

Um konkrete Maßnahmen zur Erreichung von Klimazielen setzen zu können, reicht es nicht aus die Treibhausgasemissionen eines Jahres zu betrachten, da für die Klimaänderung bzw. den globalen Durchschnittstemperaturanstieg vor allem der Bestand an Treibhausgasen in der Atmosphäre eine Rolle spielt. Verweildauern von Jahrzehnten (Methan), wenn nicht sogar Jahrhunderten (CO_2), von Treibhausgasen in der Atmosphäre verlangen die Beobachtung von Emissionen über eine Zeitspanne. Der Effekt der Anreicherung der Treibhausgase in der Atmosphäre über die Zeit kann mit Hilfe des Konzepts des Treibhausgasbudgets sichtbar gemacht werden. Das Treibhausgasbudget beschreibt jene Menge an anthropogenen Treibhausgasemissionen, welche seit Mitte des 18. Jahrhunderts ausgestoßen wurde bzw. noch ausgestoßen werden kann, sodass die Einhaltung des Pariser Abkommens, eine Beschränkung des globalen Durchschnittstemperaturanstiegs auf unter $2\text{ }^\circ\text{C}$, möglich bleibt (Gignac und Matthews 2015; IPCC 2014; Le Quéré et al. 2016; Le Quéré et al. 2017; Meyer und Steininger 2017).

Nachdem das Konzept des Treibhausgasbudgets für die Erde als Ganzes entwickelt wurde, wird in diesem Kapitel zunächst das globale Treibhausgasbudget beschrieben. Die wissenschaftliche Literatur nennt nur Ansätze um das globale Budget auf Nationen aufzuteilen. Eine Umlegung der Ansätze zur Verteilung des Budgets auf Städte erfolgte bisweilen nicht, sodass dies im Anschluss zusammen mit der Berechnung des Treibhausgasbudgets für Graz einhergeht. Abschließend erfolgt ein Vergleich der verschiedenen Budgetallokationen untereinander und werden diese mit den Emissionsniveaus aus der obigen Treibhausgasbilanzierung in Beziehung gesetzt.

5.1 Das globale Treibhausgasbudget

Seit Beginn der Industrialisierung ist die Konzentration an Treibhausgasen (Kohlendioxid, Methan, Lachgas, F-Gase, Wasserdampf) in der Atmosphäre bedingt durch die Freisetzung dieser Gase aus anthropogenen Quellen stets gestiegen. Im Zeitraum von 1750 bis 2011 betragen die kumulativen anthropogenen Kohlendioxidemissionen rund 2040 Gt CO_2 , wovon rund 50% mit hoher Sicherheit in den letzten 40 Jahren emittiert wurden. In der Atmosphäre verblieben rund 880 Gt CO_2 und rund 1160 Gt CO_2 wurden von Böden, Gewässern und Pflanzen absorbiert (IPCC 2014). Sowohl der geophysikalische als auch der beobachtete statistische Zusammenhang zwischen der atmosphärischen CO_2 -Konzentration und der globalen Durchschnittstemperatur erlauben nur einen Schluss: Mit der Erhöhung der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre steigt auch die durchschnittliche Temperatur.

Dementsprechend spielt die Menge der in der Atmosphäre verbleibenden Treibhausgase eine entscheidende Rolle bei der Erderwärmung.

Veranschaulicht wird dieser Effekt der kumulierten menschengemachten Treibhausgasemissionen durch das Treibhausgasbudget. Die Höhe des noch verfügbaren Treibhausgasbudgets hängt einerseits von der noch zugelassenen Temperaturerhöhung ab, andererseits von der gewünschten Wahrscheinlichkeit im Rahmen dieses gewählten Klimaziels zu bleiben. Denn bedingt durch die Komplexität des Klimasystems lassen sich keine exakten, klimazielskonformen Mengen an Treibhausgasen berechnen, welche noch in die Atmosphäre entlassen werden können, sondern es können nur Wahrscheinlichkeiten für die Einhaltung eines Klimaziels angegeben werden (Meyer und Steininger 2017). Der Weltklimarat IPCC (2014) gibt beispielsweise Kohlenstoffbudgets für globale Temperaturerhöhungen von höchstens 1,5 °C, 2 °C und 3 °C an, wobei für jedes Szenario Budgets für Wahrscheinlichkeiten der Zielerreichung von 33%, 50% und 66% angegeben werden.

Um mit 66%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb des 2 °C-Ziels zu bleiben, dürfen die kumulierten anthropogenen CO₂-Emissionen nach 1870 2900 Gt CO₂ (555 Gt C) nicht übersteigen (IPCC 2014). Dieses globale Kohlenstoffbudget kann in ein Treibhausgasbudget in Höhe von rund 4143 Gt CO₂äqu umgerechnet werden (Millar et al. 2017). Im Zeitraum von 1870 bis 2015 wurden bereits 2035 Gt CO₂ (2907 Gt CO₂äqu) des Budgets verbraucht (CDIAC: Carbon Dioxid Information Analysis Center 2018; IPCC 2014; Le Quéré et al. 2016; Rockström et al. 2017), sodass für die Jahre von 2016 bis 2050 noch 765 Gt CO₂ (1093 Gt CO₂äqu) zur Verfügung stehen, sofern man für den Zeitraum danach 100 Gt CO₂ (143 Gt CO₂äqu) einplant. Tabelle 35 fasst diese Aufteilung des globalen Treibhausgasbudgets zusammen.

Tabelle 35: 2 °C-Ziel konforme, globale Treibhausgasbudgets

Zeitraum	Globales Budget	Einheit
1870-2015	555	Gt C
	2035	Gt CO ₂
	2907	Gt CO ₂ äqu
2016-2050	209	Gt C
	765	Gt CO ₂
	1093	Gt CO ₂ äqu
ab 2051	27	Gt C
	100	Gt CO ₂
	143	Gt CO ₂ äqu
ab 1870	791	Gt C
	2900	Gt CO₂
	4143	Gt CO₂äqu

Quelle: CDIAC: Carbon Dioxid Information Analysis Center (2018), IPCC (2014), Le Quéré et al. (2016), Le Quéré et al. (2017), Rockström et al. (2017), Eigene Berechnungen

Abbildung 6 veranschaulicht das globale Treibhausgasbudget für den Zeitraum 1870 bis 2050. Sie zeigt schematisch, dass die Treibhausgasemissionen über die nächsten 35 Jahre ähnlich stark auf das Niveau von 1970 sinken müssen, wie sie in den letzten 25 Jahren gestiegen sind, sodass das 2 °C-Ziel erreichbar bleibt. Bis 2100 müssen die Treibhausgasemissionen dann auf annähernd Null reduziert werden, und damit zum Niveau von 1870 zurückkehren. Durch Nutzung von Maßnahmen, welche Treibhausgase aus der Atmosphäre entnehmen (z.B. Aufforstung) oder sie von dieser fernhalten (z.B. CO₂-Sequestrierung, engl. Carbon Capture and Storage CCS), können die Brutto-Emissionen bei gleichbleibendem Treibhausgasbudget aufgestockt werden (Rockström et al. 2017).

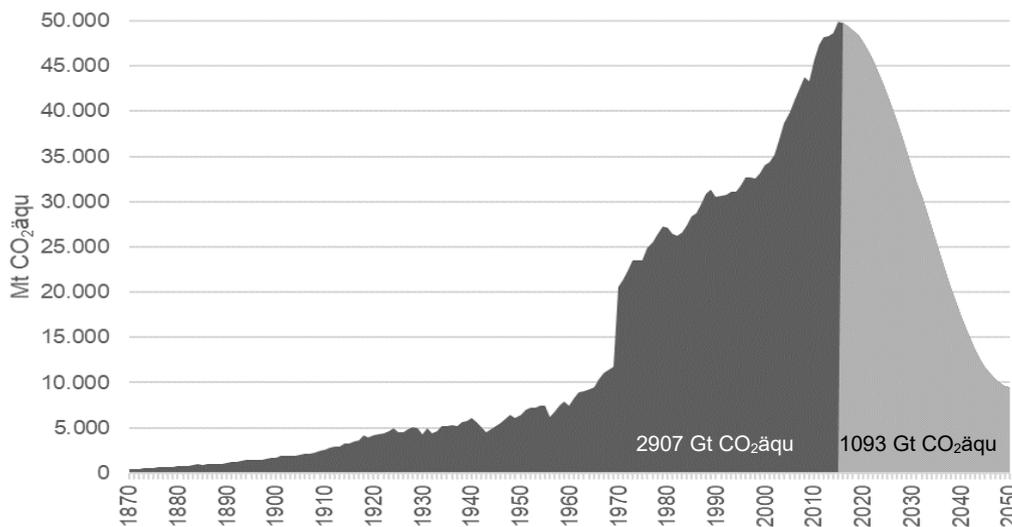


Abbildung 6: Globale THG-Emissionen 1870-2015 gegenüber dem globalen THG-Budget 2016-2050
 Quelle: CDIAC: Carbon Dioxid Information Analysis Center (2018), Eigene Darstellung

5.2 Berechnung städtischer Treibhausgasbudgets

Zur Berechnung städtischer Treibhausgasbudgets auf Basis des globalen Treibhausgasbudgets stehen mehrere Ansätze zur Verfügung, welche die in Kapitel 2.1 genannten ethischen Prinzipien auf unterschiedliche Art berücksichtigen. Diese Ansätze wurden eigentlich zur Umlegung des globalen Budgets auf Staaten entwickelt und müssen daher für die Verteilung des Globalbudgets auf Städte angepasst werden. Du Pont et al. (2016) und Du Pont et al. (2017) diskutieren beispielsweise fünf (auf Nationen bezogene) Ansätze, welche auf den Kategorien „Gleichheit“ („equality“), „Gleiche Emissionen pro Kopf“ („equal cumulative per capita emissions“), „Tragfähigkeit bzw. Zahlungsfähigkeit“ („capability“), „Verantwortlichkeit-Tragfähigkeit-Bedürftigkeit“ („responsibility-capability-need“) und „Staffelung“ („staged“) des fünften Sachstandsberichts des Weltklimarats (IPCC 2014) basieren. Darunter findet man auch die in der wissenschaftlichen Literatur am häufigsten verwendeten zwei Ansätze: „Verringerung und Konvergenz“ („Contraction and Convergence“) und „Gleichverteilung pro Kopf“. Aufgrund ihrer Popularität und ihres geringen Datenbedarfs dienen diese zwei Ansätze im folgenden der Berechnung des Treibhausgasbudgets für Graz.

5.2.1 Ansatz Verringerung und Konvergenz

Die Basis für die Berechnung bilden beim Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ die globalen Treibhausgasemissionen je Kopf. Innerhalb eines bestimmten Zeitraums, der Kontraktionsphase, müssen diese Pro-Kopf-Emissionen auf einen bestimmten – dann global einheitlichen – Zielwert reduziert werden. Während der Kontraktionsphase, in der Konvergenzphase, nähern sich die Emissionsniveaus der unterschiedlichen Emittenten aneinander an bis sie auf einem einheitlichen Niveau sind (Meyer und Steininger 2017). Für Städte bedeutet dies, dass Städte mit heutigen Pro-Kopf-Emissionen über dem globalen Mittel ihre Treibhausgasemissionen senken müssen, während Städte mit Pro-Kopf-Emissionen, die heute unter dem globalen Mittel liegen, ihre Treibhausgasemissionen bis zu einem bestimmten Zeitpunkt ansteigen lassen können. Abbildung 7 zeigt eine schematische Darstellung der Funktionsweise des Ansatzes „Verringerung und Konvergenz“ für fünf Städte (strichlierte Linien), wovon zwei Städte zu Beginn der Allokationsperiode (Anfangsjahr a) Pro-Kopf-Emissionen über dem globalen Mittel (grüne Linie) aufweisen und drei Städte darunter liegen. Bis zum Konvergenzjahr sinken bzw. steigen die Pro-Kopf-Emissionsniveaus der Städte auf ein global einheitliches Niveau, um danach gleichermaßen bis zum Endjahr z auf den Zielwert zu fallen. Das für die jeweilige Stadt spezifische Treibhausgasbudget entspricht der Fläche unter dem spezifischen Zielpfad mal der Anzahl der stadtansässigen EinwohnerInnen.

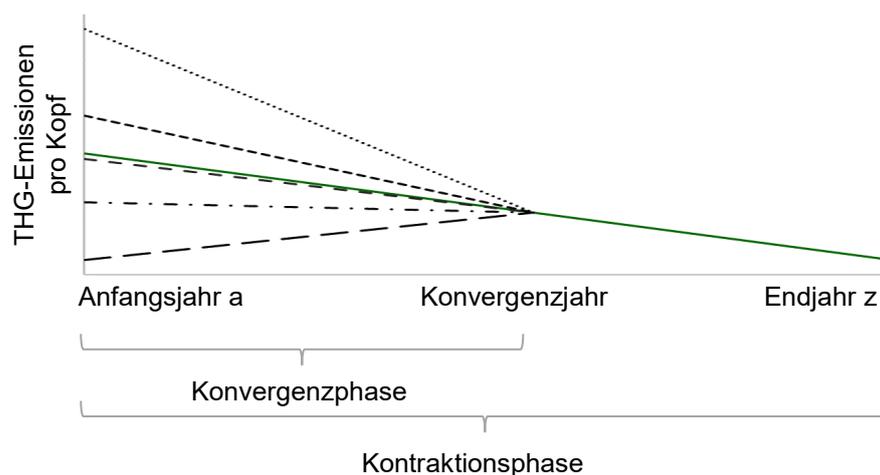


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Ansatzes Verringerung und Konvergenz
 Quelle: Eigene Darstellung

Meyer und Steininger (2017) folgend gehen wir bei der Berechnung des Grazer Treibhausgasbudgets von einem Zielwert in Höhe von 1,04 t CO₂äqu pro Kopf bei einer globalen Bevölkerung von 9,16 Milliarden Menschen (IIASA 2018) im Jahr 2050 aus. Bei diesem Zielwert fallen Konvergenzjahr und Endjahr der Allokationsperiode zusammen und es wird sichergestellt, dass bei linearen Zielpfaden das globale Budget für 2016 bis 2050 in Höhe von 1093 Gt CO₂äqu (Kapitel 5.1) nicht überschritten wird. Als Anfangswert für 2016 dient das Ergebnis der produktionsbasierten Treibhausgasbilanz von 2015 (1.170.210,20 t CO₂äqu, Kapitel 3.4), welches durch die Grazer Bevölkerungszahl von 2016 (286.686 Personen, Tabelle 49 im Anhang) dividiert wird. Daraus folgt ein Emissionswert von 4,08 t CO₂äqu pro GrazerIn im Jahr 2016 und impliziert, dass die Pro-Kopf-Emissionsreduktion bereits direkt nach der Bilanzierungsperiode ansetzt. Die Daten zu den Bevölkerungszahlen stammen von der Weltbank (2019), dem internationalen Institut für angewandte Systemanalyse IIASA (2018), der österreichischen Raumordnungskonferenz ÖROK (2014) und dem Statistik-Referat der Stadt Graz (2012), wobei fehlende Datenpunkte mittels Polynominter- bzw. -extrapolation ermittelt wurden (Tabelle 49 im Anhang). Aufgrund dieser Schätzungen ergibt sich ein maximal zulässiger Emissionswert für die Stadt Graz für das Jahr 2050 in Höhe von rund 370.400 t CO₂äqu und ein zulässiges produktionsbasiertes Treibhausgasbudget für den Zeitraum von 2016 bis 2050 in Höhe von rund 28,7 Millionen t CO₂äqu, wie Tabelle 36 zeigt. Der Zielwert wird durch eine jährliche Reduktion der produktionsbasierten Pro-Kopf-Emissionen der GrazerInnen um rund 90 kg CO₂äqu ab 2016 erreicht.

Tabelle 36: Budget nach Ansatz Verringerung und Konvergenz (nach Pro-Kopf-Emissionen, produktionsbasiert)

Ermittlung		Wert
$\text{THG-Budget}_{\text{V\&K(pro Kopf)}}^{\text{az}} [\text{t CO}_2\text{äqu}] = \sum_{i=a}^z \left(\text{Bev}_i \times \left(\frac{E_a}{\text{Bev}_a} + \frac{E_z - E_a}{z - a} \times (i - a) \right) \right)$		28.695.537,94
Bev _i	= Bevölkerung der Stadt im Jahr i, i = [a,z]	Tabelle 49
E _a	= Emissionen der Stadt in Tonnen CO ₂ äqu im Jahr a	1.170.210,20
E _z	= Emissionen der Stadt in Tonnen CO ₂ äqu im Jahr z	370.431,36
A	= Anfangsjahr des Budgetierungszeitraums	2016
Z	= Endjahr des Budgetierungszeitraums	2050

Quelle: Du Pont et al. (2016), Meyer und Steininger (2017), Eigene Berechnungen

Als Alternative zur obigen Berechnung, welche auf der Annahme der linearen Reduktion der produktionsbasierten Pro-Kopf-Emissionen basiert, kann man auch Linearität bei den produktionsbasierten Gesamtemissionen unterstellen. Dies führt zwar gewissermaßen zur Außerachtlassung der Bevölkerungsdynamiken und damit zu einer Verletzung des Gleichheitsprinzips, aber schlussendlich ist die Reduktion der Gesamtemissionen beim Kampf gegen den Klimawandel entscheidend, unabhängig davon bei wem diese stattfindet. Unter diesen abgeänderten Bedingungen und bei Beibehaltung des obigen Anfangs- und Zielwerts ergibt sich ein produktionsbasiertes Treibhausgasbudget in Höhe von knapp 27 Millionen t CO₂äqu für den Zeitraum von 2016 bis 2050 (Tabelle 37). Somit führt die Außerachtlassung des Bevölkerungswachstums zu einem spürbar niedrigeren Budget. Ausgehend von den produktionsbasierten rund 1,2 Millionen t CO₂äqu im Jahr 2016 müssten die produktionsbasierten Gesamtreibhausgasemissionen jährlich um rund 23.500 t CO₂äqu sinken, sodass der maximal zulässige Emissionswert von rund 370.400 t CO₂äqu im Jahr 2050 erreicht wird.

Tabelle 37: Budget nach Ansatz Verringerung und Konvergenz (nach Gesamtemissionen, produktionsbasiert)

Ermittlung		Wert
$\text{THG-Budget}_{\text{V\&K(gesamt)}}^{\text{az}} [\text{t CO}_2\text{äqu}] = \sum_{i=a}^z \left(E_a + \frac{E_z - E_a}{z - a} \times (i - a) \right)$		26.961.227,24
E _a	= Emissionen der Stadt in Tonnen CO ₂ äqu im Jahr a	1.170.210,20
E _z	= Emissionen der Stadt in Tonnen CO ₂ äqu im Jahr z	370.431,36
A	= Anfangsjahr des Budgetierungszeitraums	2016
Z	= Endjahr des Budgetierungszeitraums	2050

Quelle: Du Pont et al. (2016), Eigene Berechnungen

Nachdem die Ergebnisse der produktionsbasierten und der konsumbasierten Treibhausgasbilanzierung um mehr als 1,6 Millionen t CO₂äqu bzw. 5,6 t CO₂äqu pro Kopf im

Jahr 2015 auseinander liegen (Kapitel 3.4 und 4.2), wäre es unangebracht bei der Treibhausgasbudgetierung nur produktionsbasierte Ausgangswerte zu verwenden. Daher werden die obigen Berechnungen gemäß Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ für konsumbasierte Werte wiederholt. Während Anfangsjahr (2016), Endjahr (2050) und Zielwert (~ 370.400 t CO₂äqu) unverändert in die Berechnung des konsumbasierten Treibhausgasbudgets eingehen, erhöht sich der Ausgangswert für Graz auf rund 9,66 t CO₂äqu pro Kopf. Dieser Ausgangswert entspricht dem Ergebnis der konsumbasierten Treibhausgasbilanzierung für Graz 2015 (2.770.726,60 t CO₂äqu, Kapitel 4.2) dividiert durch die Bevölkerungszahl von Graz 2016 (286.686 Personen, Tabelle 49 im Anhang), wodurch wie zuvor schon eine im Jahr 2016 einsetzende Reduktion der Pro-Kopf-Emissionen gegenüber 2015 unterstellt wird. Tabelle 38 fasst die Daten zur konsumbasierten Treibhausgasbudgetierung zusammen und zeigt das resultierende, zulässige Budget in Höhe von rund 59,5 Millionen t CO₂äqu für Graz für den Zeitraum 2016 bis 2050. Der Zielwert in Höhe von 1,04 t CO₂äqu pro Kopf in 2050 wird durch eine Senkung der konsumbasierten Pro-Kopf-Emissionen von 9,66 t CO₂äqu ab 2016 um rund 250 kg CO₂äqu pro Jahr erreicht.

Tabelle 38: Budget nach Ansatz Verringerung und Konvergenz (nach Pro-Kopf-Emissionen, konsumbasiert)

Ermittlung		Wert
$\text{THG-Budget}_{\text{V\&K}(\text{pro Kopf})}^{\text{az}} [\text{t CO}_2\text{äqu}] = \sum_{i=a}^z \left(\text{Bev}_i \times \left(\frac{E_a}{\text{Bev}_a} + \frac{E_z - E_a}{z - a} \times (i - a) \right) \right)$		59.487.078,35
Bev _i	= Bevölkerung der Stadt im Jahr i, i = [a,z]	Tabelle 49
E _a	= Emissionen der Stadt in Tonnen CO ₂ äqu im Jahr a	2.770.726,60
E _z	= Emissionen der Stadt in Tonnen CO ₂ äqu im Jahr z	370.431,36
A	= Anfangsjahr des Budgetierungszeitraums	2016
Z	= Endjahr des Budgetierungszeitraums	2050

Quelle: Du Pont et al. (2016), Meyer und Steininger (2017), Eigene Berechnungen

Wird die lineare Reduktion der Gesamtemissionen anstelle der linearen Reduktion der Pro-Kopf-Emissionen gefordert, ergibt sich ein um rund 4,5 Millionen t CO₂äqu niedrigeres konsumbasiertes Treibhausgasbudget für Graz in Höhe von rund 55 Millionen t CO₂äqu (Tabelle 39). Ausgehend von dem konsumbasierten Emissionsniveau der Stadt Graz von fast 2,8 Millionen t CO₂äqu in 2016, müssten die gesamten, konsumbasierten Treibhausgasemissionen von Graz bis 2050 um knapp 70.600 t CO₂äqu pro Jahr reduziert werden, um den geforderten Zielwert von rund 370.400 t CO₂äqu in 2050 nicht zu überschreiten.

Tabelle 39: Budget nach Ansatz Verringerung und Konvergenz (nach Gesamtemissionen, konsumbasiert)

Ermittlung	Wert
$\text{THG-Budget}_{V\&K(\text{gesamt})}^{az} [\text{t CO}_2\text{äqu}] = \sum_{i=a}^z \left(E_a + \frac{E_z - E_a}{z - a} \times (i - a) \right)$	54.970.264,30
E_a = Emissionen der Stadt in Tonnen CO ₂ äqu im Jahr a	2.770.726,60
E_z = Emissionen der Stadt in Tonnen CO ₂ äqu im Jahr z	370.431,36
a = Anfangsjahr des Budgetierungszeitraums	2016
z = Endjahr des Budgetierungszeitraums	2050

Quelle: Du Pont et al. (2016), Eigene Berechnungen

5.2.2 Ansatz Gleichverteilung pro Kopf

Der Ansatz „Gleichverteilung pro Kopf“ repräsentiert die Kategorie „Gleichheit bzw. Gleichberechtigung“ des fünften Sachstandsberichts des Weltklimarats (IPCC 2014) und teilt das heute verbleibende Emissionsbudget gleichmäßig auf die Weltbevölkerung auf. Daraus folgt, dass jede/r Erdenbürger/in ein gleich großes Emissionsbudget bis 2050 zugeteilt bekommt. Setzt man dieses Pro-Kopf-Budget in Relation zu den aktuellen, individuellen Treibhausgasemissionen, so bilden sich drei Gruppen (WBGU 2009). Die erste Gruppe kommt bei Beibehaltung ihres aktuellen Emissionsniveaus nicht mit dem zugewiesenen Budget aus. Die zweite Gruppe braucht bei derzeitigem Emissionsausstoß ihr Budget bis 2050 ziemlich genau auf. Die dritte Gruppe kann einen Teil ihres Budgets für die Jahre nach 2050 sparen, da bei Beibehaltung ihrer derzeitigen Emissionsmenge das Budget (bei weitem) nicht ausgeschöpft wird. Bei industrialisierten Städten, wie Graz eine ist, ist zu erwarten, dass sie in die erste dieser Gruppen fallen.

Um die Berechnung des städtischen Treibhausgasbudgets anhand des Ansatzes „Gleichverteilung pro Kopf“ durchführen zu können, müssen laut WBGU (2009) nur vier klimapolitische Parameter festgelegt werden: das Anfangs- und das Endjahr der Zuteilung, das globale Treibhausgasbudget in Abhängigkeit von der Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung, sowie das demografische Referenzjahr. Das Anfangsjahr legt den Beginn der Budgetzuteilung fest. Liegt es in der Vergangenheit, werden bereits getätigte Emissionen miteinbezogen und führen zu einer Reduktion des für die Zukunft zulässigen Budgets, wobei Städte mit hohen Emissionen in der Vergangenheit stärker „bestraft“ werden, als diejenigen, die wenig emittierten. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von historischer Verantwortung. Ob sich Städte für ihre historischen produktionsbasierten oder ihre historischen konsumbasierten Emissionen verantworten müssen, ist eine politische Frage, deren Antwort entweder historische Nettoimporteure oder historische Nettoexporteure von Treibhausgasemissionen in Form weniger verringerter Treibhausgasbudgets begünstigt. Bei

Nichtberücksichtigung der historischen Verantwortung (d.h. die Budgetierung beginnt in der Gegenwart) führt der Ansatz „Gleichverteilung pro Kopf“ unabhängig von der Betrachtungsweise (produktionsbasiert oder konsumbasiert) zum selben Ergebnis. Das Endjahr bestimmt bis wann die Emissionsreduktion erfolgt sein muss. Das globale Treibhausgasbudget bildet die Basis für die Verteilung und ist umso niedriger, desto wahrscheinlicher die Erreichung des klimapolitischen Ziels (Beschränkung der Temperaturveränderung) sein soll. Das Verhältnis zwischen Stadt- und Weltbevölkerung im demografischen Referenzjahr wird als Gewicht zur Verteilung des Globalbudgets verwendet.

Die Ermittlung des Treibhausgasbudgets für die Stadt Graz basiert wie beim Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ auf dem Globalbudget von 1093 Gt CO₂äqu (Kapitel 5.1). Anfangs- und Zieljahr sind wie zuvor 2016 bzw. 2050, damit die Budgets miteinander verglichen werden können (Ein früheres Anfangsjahr und die damit verbundene Einbeziehung historischer Daten wäre aufgrund fehlender Aufzeichnung über das Emissionsverhalten der Stadt Graz auch kaum möglich). Als demografisches Referenzjahr wird das Jahr 2016 gewählt. Tabelle 40 fasst die Parameter zusammen, gibt die Daten dazu wieder und zeigt das berechnete Treibhausgasbudget in Höhe von rund 42,7 Millionen t CO₂äqu. Eine gleichmäßige Verteilung dieses Budget auf die 35 Jahre des Betrachtungszeitraums ergibt einen Wert von rund 1,22 Millionen t CO₂äqu pro Jahr.

Tabelle 40: Budgetberechnung nach Ansatz Gleichverteilung pro Kopf

Ermittlung		Wert
$\text{THG-Budget}_{\text{GKB}}^{\text{az}} [\text{t CO}_2\text{äqu}] = \text{THG-Budget}_{\text{Welt}}^{\text{az}} \times \frac{\text{Bev}_{\text{Stadt}}^{\text{a}}}{\text{Bev}_{\text{Welt}}^{\text{a}}}$		42.747.413,38
$\text{THG-Budget}_{\text{Welt}}^{\text{az}}$	= Global verfügbares Treibhausgasbudget für den Zeitraum [a,z] in Tonnen CO ₂ äqu	1093 x 10 ⁹
$\text{Bev}_{\text{Stadt}}^{\text{a}}$	= Bevölkerung der Stadt im Jahr a	286.686
$\text{Bev}_{\text{Welt}}^{\text{a}}$	= Weltbevölkerung im Jahr a	7.329.258.499
a	= Anfangsjahr des Budgetierungszeitraums	2016
z	= Endjahr des Budgetierungszeitraums	2050

Quelle: Du Pont et al. (2016), Stadt Graz (2017), Weltbank (2019), Eigene Berechnungen

Nun lässt sich 2016 als demografisches Referenzjahr durch die Ratifizierung des Pariser Abkommens zur Beschränkung der Temperaturerhöhung auf unter 2 °C im Jahr 2016 durch viele Staaten – darunter auch Österreich – zwar rechtfertigen, denkbar wäre aber auch jedes spätere Referenzjahr (z.B. 2017, da in diesem Jahr das Pariser Abkommen erst in Kraft getreten ist). Gerade Städte mit einer stark wachsenden Bevölkerung würden sich ein späteres Referenzjahr wünschen, da sie dann von der Zuweisung eines höheren Treibhausgasbudgets profitieren könnten (Meyer und Steininger 2017). Als Lösung dieses Entscheidungsproblems

schlägt der WBGU (2009) daher vor, die (durchschnittliche) Bevölkerungsdynamik über einen Zeitraum als Referenz heranzuziehen. Dies passiert in der folgenden Variante des Ansatzes „Gleichverteilung pro Kopf“, indem die kumulierte Bevölkerung über den Zeitraum von 2016 bis 2050 als Referenz verwendet wird. Das Anfangs- und das Endjahr, sowie das globale Budget sind nach wie vor 2016, 2050 und 1093 Gt CO₂äqu. Sodann ergibt sich ein marginal höheres Treibhausgasbudget in Höhe von 42,8 Millionen t CO₂äqu für die 35 Jahre bis 2050 (weil Graz in seiner Bevölkerung ganz geringfügig stärker wächst (ÖROK 2014) als der globale Durchschnitt), wie Tabelle 41 zeigt. Die Umlegung auf ein jährlich gleich hohes Budget resultiert in wiederum rund 1,22 Millionen t CO₂äqu pro Jahr.

Tabelle 41: Budgetberechnung nach Ansatz Gleichverteilung auf kumulierte Bevölkerung

Ermittlung		Wert
$\text{THG-Budget}_{\text{GPK}}^{\text{az}} [\text{t CO}_2\text{äqu}] = \text{THG-Budget}_{\text{Welt}}^{\text{az}} \times \frac{\sum_{i=a}^z \text{Bev}_{\text{Stadt}}^i}{\sum_{i=a}^z \text{Bev}_{\text{Welt}}^i}$		42.770.248,78
$\text{THG-Budget}_{\text{Welt}}^{\text{az}}$	= Global verfügbares Treibhausgasbudget für den Zeitraum [a,z] in Tonnen CO ₂ äqu	1093 x 10 ⁹
$\text{Bev}_{\text{Stadt}}^i$	= Bevölkerung der Stadt im Jahr i, i ∈ [a,z]	Tabelle 49
$\text{Bev}_{\text{Welt}}^i$	= Weltbevölkerung im Jahr i, i ∈ [a,z]	Tabelle 49
a	= Anfangsjahr des Budgetierungszeitraums	2016
z	= Endjahr des Budgetierungszeitraums	2050

Quelle: Du Pont et al. (2016), Eigene Berechnungen

5.3 Treibhausgasbudgets für die Stadt Graz

Tabelle 42 führt die Ergebnisse der Treibhausgasbudgetierung für Graz für den Zeitraum von 2016 bis 2050 zusammen. Wird jedem Erdenbürger/jeder Erdenbürgerin die gleiche Menge an Treibhausgasemissionen für den Zeitraum 2016 bis 2050 zugestanden, so ergibt sich ein Budget für Graz etwas über 42 Millionen Tonnen CO₂äqu. Dient der Anteil der Grazer Bevölkerung an der Weltbevölkerung im Jahr 2016 als Bemessungsgrundlage, liegt das Treibhausgasbudget bei rund 42,7 Millionen t CO₂äqu. Liegt der Berechnung die kumulierte Bevölkerung ab 2016 bis 2050 zugrunde, ergibt sich ein Budget in Höhe von geringfügig höheren rund 42,8 Millionen t CO₂äqu für Graz.

Breits für diesen Ansatz des Herunterbrechens des globalen Budgets auf jenes für eine Stadt in einem Industrieland können mehrere Gründe angeführt werden, dass es fair wäre, das Budget kleiner ausfallen zu lassen, insbesondere (a) aufgrund der bereits historisch hohen Emissionen dieser Stadt (dieses Landes) und des damit bereits in der Vergangenheit gegebenen stärkeren Aufbrauchs „ihres“ Budgets, und (b) der höheren Kapazität durch die mit

Hilfe dieser Emissionen aufgebauten und noch immer verfügbaren Infrastruktur, die dieses reiche Industrieland (und seine Stadt Graz) auch derzeit weiterhin nutzen.

Dennoch können ganz im Gegenteil sogar umgekehrt auch andere Zuteilungsansätze gewählt werden, die Graz ein sogar größeres Budget zusprechen. Solche Budgets setzen sich jedoch noch viel stärker der Kritik aus, globalen Fairnesskriterien nicht zu entsprechen. Der wichtigste solcher Zuteilungs-Ansätze ist jener der „Verringerung und Konvergenz“. Folgt man diesem, und wählt zunächst den produktionsbasierten Ausgangswert, so ergibt sich ein Budget in Höhe von rund 28,7 Millionen t CO₂äqu bzw. 27 Millionen t CO₂äqu, je nachdem ob man Linearität bei den Pro-Kopf- oder bei den Gesamtemissionen unterstellt. Bei konsumbasiertem Ausgangswert liegen die Budgets für die Stadt Graz gemäß des Ansatzes „Verringerung und Konvergenz“ deutlich über den produktionsbasierten Budgets. Bei linearer Reduktion der Pro-Kopf-Emissionen beträgt das konsumbasierte Budget rund 59,5 Millionen t CO₂äqu und bei linearer Reduktion der Gesamtemissionen liegt es bei knapp 55 Millionen t CO₂äqu. In beiden Fällen (produktions- und konsumbasiert) werden die global ungleich verteilten Treibhausgasniveaus fortgeschrieben und linear konvergierend auf ein Niveau von 1,04 t CO₂äqu pro Kopf erst in 2050 geführt.

Tabelle 42: 2 °C-Ziel konforme Treibhausgasbudgets für Graz 2016-2050

Berechnungsmethode	t CO ₂ äqu	Grafische Interpretation
Verringerung und Konvergenz (produktionsbasiert)		
- Linearität in den Pro-Kopf-Emissionen	28.695.537,94	
- Linearität in den Gesamtemissionen	26.961.227,24	
Verringerung und Konvergenz (konsumbasiert)		
- Linearität in den Pro-Kopf-Emissionen	59.487.078,35	
- Linearität in den Gesamtemissionen	54.970.264,30	
Gleichverteilung pro Kopf		
- Bevölkerungsverhältnis Graz/Welt 2016	42.747.413,38	
- Bevölkerungsverhältnis Graz/Welt 2016-2050 kumuliert	42.770.248,78	

Quelle: Eigene Berechnungen

Das geringere produktionsbasierte Treibhausgasbudget beim Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ lässt sich mit Hilfe des für Graz unterstellten Startwerts in Höhe von 4,08 t

CO₂äqu pro Kopf im Jahr 2016 erklären. Nachdem der Startwert unter dem globalen Mittel von 4,78 t CO₂äqu pro Kopf in 2016 (Ritchie und Roser 2017) liegt und linear bis zum Jahr 2050 auf den global einheitlichen Zielwert von 1,04 t CO₂äqu reduziert wird, liegen die der Stadt Graz zugestanden Pro-Kopf-Emissionswerte für die 35 Jahre des Bilanzierungszeitraums stets unter dem globalen Mittel. Folglich ist das geringere Treibhausgasbudget einerseits auf den „guten“ Startwert, und andererseits auf die Technologieannahme, dass Graz die Treibhausgasemissionen jährlich um einen konstanten Betrag senken kann, zurückzuführen.

Mit demselben Argument lässt sich das höhere konsumbasierte Treibhausgasbudget beim Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ begründen. Der Startwert für Graz liegt in diesem Fall bei 9,66 t CO₂äqu pro Kopf im Jahr 2016 und ist somit mehr als doppelt so hoch als die globalen durchschnittlichen Pro-Kopf-Emissionen in Höhe von 4,78 t CO₂äqu im Jahr 2016 (Ritchie und Roser 2017). Aufgrund der Annahme der linearen Reduktion der Treibhausgasemissionen beim Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ wird der Stadt Graz somit jährlich bis 2050 ein Budget zugestanden, welches über dem globalen Mittel liegt. Im Jahr 2050 wird dann der global einheitliche Zielwert von 1,04 t CO₂äqu pro Kopf erreicht.

Beim Ansatz „Gleichverteilung pro Kopf“ werden allen Erdenbürgern/-bürgerinnen ab 2016 gleiche kumulierte Pro-Kopf-Emissionen zugestanden, basierend auf der Bevölkerungsverteilung eines Referenzzeitraums. Die Verwendung von 2016 als Referenzjahr der Bevölkerungsverteilung begünstigt Städte, welche 2016 einen großen Anteil an der Weltbevölkerung haben. Wird die gesamte Bevölkerung des Budgetierungszeitraums (2016-2050) als Referenz genutzt, profitieren Städte mit überdurchschnittlich hohem Bevölkerungswachstum von dem Erhalt eines höheren Treibhausgasbudgets. Gemäß Prognosen wird der Anteil von Graz an der Weltbevölkerung steigen (Tabelle 49), sodass die Stadt Graz bei der Zuweisung von Emissionsrechten von der Einbeziehung späterer Referenzjahre profitieren würde.

In beiden Fällen der Berechnung (Bevölkerungsverteilung im Ausgangsjahr, bzw. kumulierte Bevölkerungsverteilung) beträgt das Treibhausgasbudget für Graz für den Ansatz „Gleichverteilung pro Kopf“ rund 42,75 Mio t CO₂äqu. Werden aus diesem Budget jährlich die konsumbasierten Emissionen abgebucht, und starten diese bei 2,77 Mio t CO₂äqu, so müssen diese **Emissionen im Durchschnitt jährlich um zumindest 5,6% sinken**, um mit den errechneten Budgets bis 2050 auszukommen. Aufgrund der im Zeitverlauf wachsenden Grazer Bevölkerung **entspricht** dies, bezogen auf die Pro-Kopf-Größen, **einer Reduktion von durchschnittlich jährlich 6,4% pro Kopf**.

Für die ermittelte Haupt-Variante des der Stadt Graz zur Verfügung stehenden Treibhausgasbudgets macht somit ein fairer Beitrag zur Erreichung des Pariser Klimaziels eine Reduktion der Treibhausgasemissionen der Stadt Graz in der Periode 2016-2050 um jährlich durchschnittliche zumindest 5,6% erforderlich (dies entspricht einer Reduktion der THG-Emissionen pro Kopf in Höhe von durchschnittlich 255 kg CO₂äqu pro Person und Jahr). Selbst wenn – aus globaler Fairness-Sicht deutlich kritisierbare – andere Zuteilungsvarianten gewählt werden, die Graz ein großzügigstes Budget zusprechen, so bleiben die durchschnittlichen Reduktionsraten der Pro-Kopf-Emissionen ident, allein der Stadt wird eine längere Übergangszeit gewährt, sie kann diese gleiche durchschnittliche Reduktion auch über geringere absolute Reduktionen zu Beginn erreichen.

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Um ein Klimafenster abzusichern, in dem unser Planet für die Menschheit lebenswert bleibt, hat sich die Weltgemeinschaft im Pariser Klimaübereinkommen darauf verständigt, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur bei höchstens 2 Grad (gegenüber vorindustriell), möglichst jedoch bei nicht mehr als 1,5 Grad zu begrenzen. Dieses Ziel lässt sich physikalisch umrechnen in eine Menge an Treibhausgasen, die die Menschheit über alle Zukunft noch maximal in die Atmosphäre entlassen darf. Gegeben der noch bestehenden Unsicherheiten in der Reaktion des globalen Klimasystems, muss man dafür zudem eine bestimmte Wahrscheinlichkeit unterstellen, mit der dieses Ziel zumindest erreicht werden soll. Üblicherweise wird hier eine Zwei-Drittel-Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung gewählt, was zu einem globalen Wert an maximal möglichen Emissionen bis zur Mitte des Jahrhunderts in Höhe von rund 1000 Gt CO₂äqu führt (Meyer und Steininger 2017). Hat man diesen globalen Wert abgeleitet, so kann dieser Wert nun über unterschiedliche Ansätze auf Länder bzw. kommunale Einheiten darin heruntergebrochen werden.

Zwei naheliegende Methoden, die in dieser Studie als Ankerpunkte verwendet werden, sind:

- (a) das global verfügbare Treibhausgasbudget wird gleichmäßig auf alle heute lebenden Menschen aufgeteilt, und jeder Staat (bzw. jede Kommune) bekommt den seiner aktuellen Bevölkerungszahl entsprechenden Anteil daran zugesprochenen.
- (b) es könnte auch argumentiert werden, dass das Absenken der Treibhausgasemissionen keine einfache Sache ist, und man daher nicht von heute weg schon globale Gleichverteilung pro Kopf implementiert, sondern es allen Ländern gestattet, sich erst über die Zeit, bis zu einem in der Zukunft definierten Zeitpunkt auf einen global einheitlichen, und erst dann gleichen Pro-Kopf-Emissionswert hinzubewegen.

Der Wert, der innerhalb beider Ansätze abgeleitet wird, ist dabei für ein Industrieland wie Österreich jedenfalls ein „maximalst“ mögliches Budget, eine obere Grenze – weil viele Gründe angeführt werden können, die für ein geringeres Budget sprechen:

- Industrieländer wie Österreich sind historisch für einen überproportionalen Anteil an Emissionen verantwortlich, haben also „ihr Recht“ auf die Nutzung der Aufnahmefähigkeit der Atmosphäre schon in der Vergangenheit in Anspruch genommen, und daher nunmehr nur mehr ein kleineres Budget verfügbar.
- Industrieländer im Allgemeinen, und Österreich im Besonderen, sind im globalen Maßstab sehr reiche Länder, mit deutlich höherer Kapazität (technologisch, Bildung) zur

Emissionsreduktion, sowie von besonders hohem Wohlstand, sodass ein größerer Anteil am Bemühen um das Absenken der Emissionen übertragbar wäre.

- Industrieländer wie Österreich haben einen umfassenden Kapitalstock aufgebaut (Infrastruktur wie Gebäude, Verkehrswege, etc.), übrigens auch unter dadurch bedingter Treibhausgasemissionen, sodass ihre Bevölkerung davon weiterhin profitiert bzw. Nutzen daraus zieht, und somit von nun an anderen Ländern überproportional das nunmehr noch verbleibende Treibhausgasbudget zuzusprechen wäre.

In der vorliegenden Studie wird dennoch mit diesen beiden Maximal-Ansätzen gearbeitet, zum einen in der Version „Gleichverteilung von heute an“, dies als Hauptvariante, zum anderen jedoch auch zur Illustration wie hoch das Budget wäre, wenn der – zwar die Fairness verletzende – aber allgrößzügigste Ansatz gewählt würde, in der Variante „Verringerung und Konvergenz“, wobei in letzterer der Konvergenzzeitpunkt (also der Zeitpunkt ab dem alle Länder gleiche Pro-Kopf-Emissionen aufweisen), erst auf das Jahr 2050 gelegt wird, also diese Variante auch in dieser Hinsicht eine Maximal-Version des Budgets ergibt.

Als zweite konzeptionelle Frage gilt es zu klären, wie viele (und damit welche) Treibhausgasemissionen einer Kommune wie Graz zuzurechnen sind. Daraus ergibt sich dann auch erst, welcher Betrag des Treibhausgasbudgets pro Jahr verbraucht wird, oder in anderen Worten: wie starke Anstrengungen unternommen werden müssen, um bis zur Mitte des Jahrhunderts wirklich mit allein dem noch der Stadt Graz zugeordneten Budget auszukommen. Auch hier gibt es zwei mögliche Ansätze, die die internationale Diskussion dominieren:

- (a) Im produktionsbasierten Ansatz der Bilanzierung werden die Treibhausgasemissionen jenem Akteur/jener Akteurin zugerechnet, bei dem/der die Emissionen physikalisch anfallen, d.h. z.B. dem Betrieb, der zur Produktion von Gütern Erdöl verbrennt. Die Emissionen werden damit auch dem Ort zugerechnet, an dem diese Emissionen anfallen. Dementsprechend werden der Stadt Graz alle Emissionen zugerechnet, die innerhalb der geografischen Grenzen der Stadt anfallen.
- (b) Im konsumbasierten Ansatz der Bilanzierung werden die Emissionen jenem Akteur/jener Akteurin zugerechnet bzw. angelastet, dessen/deren Endnachfrage das emissionsintensive Gut beinhaltet, egal an welchem Ort auf diesem Planeten (und damit egal wo in der Vorkette der Produktion und ihrer Wertschöpfungskette) die durch die Produktion des Gutes verursacht Treibhausgasemission physikalisch angefallen ist, d.h. z.B. dem Haushalt in Graz, der ein Mobiltelefon kauft, werden alle Emissionen angelastet, die in der Produktion dieses Telefons entstanden sind, wie jene der mit dem eingesetzten Strom in China verbundenen Emissionen, jene im Transport auf dem Weg von dort nach

Österreich, aber auch jene des österreichischen Händlers, bei dem das Produkt letztlich gekauft wurde.

In der vorliegenden Studie wurde für die produktionsbasierte Bilanzierung zum einen auf die bisher zwei früheren vorliegenden Studien in Hinblick auf deren spezifische Emissionskennzahlen zurückgegriffen, diese aktualisiert, insbesondere aber die Produktionsmengen aktualisiert, und eine Emissionsbilanz für das Jahr 2015 erstellt, erstmals auch unter Einschluss der Treibhausgasemissionen aus Abfall und Abwasser (vgl. Tabelle 43). Es konnte damit für die Stadt Graz für das Jahr 2015 ein Wert von 1.170.210 t CO₂äqu an Treibhausgasemissionen ermittelt werden, dies entspricht pro Jahr einer Emission von 4,1 t CO₂äqu pro Kopf.

Erstmals wurde für die Stadt Graz auch ein konsumseitiger Treibhausgasemissionswert erhoben. Hierfür liegen aus der Konsumerhebung keine allein für Graz spezifischen Daten vor, wohl aber jene für die Städte (außer Wien) mit mehr als 100.000 Einwohnern/Einwohnerinnen, somit also ein Wert der Städte Graz, Linz, Salzburg und Innsbruck. Mit diesem Konsummuster, sowie den sektoralen konsumseitigen Treibhausgasintensitäten im österreichweiten Schnitt ließen sich die konsumseitig bilanzierten Treibhausgasemissionen der Stadt Graz ermitteln: es waren dies im Jahr 2015 2.770.727 t CO₂äqu (vgl. Tabelle 44), was einem Wert von rund 9,66 t CO₂äqu pro Kopf entspricht.

Tabelle 43: Überblick über produktionsseitige Bilanzierung für Graz 2015

Produktionsseitige Treibhausgasbilanz Graz 2015			
Abfall und Abwasser			
	Abfall-[t] bzw. Abwasser- aufkommen [m ³]	Emissionsfaktor CO ₂ äqu [t/t] bzw. [t/m ³]	Emissionen [t CO ₂ äqu]
Deponierung	14.210,26	0,19382	2.754,23
Verbrennung	36.460,27	0,51158	18.652,32
Kompostierung	20.816,96	0,41460	8.630,71
Abwasser	28.600.000,00	0,00048	13.595,31
Industrie und Gewerbe			
	MitarbeiterInnen	Emissionsfaktor CO ₂ äqu [t/MitarbeiterIn]	Emissionen [t CO ₂ äqu]
Baugewerbe	4.550	2,61070	11.877,81
Innenausbau	3.032	0,03700	112,20
Lösungsmittelindustrie	979	6,00140	5.875,37
Druckerei	4.806	1,31068	6.299,13
Gartenbau/Landwirtschaft	419	0,31508	132,02
Gaswerk	1.358	0,26100	354,47
Fernheizkraftwerk	104	4,13662	430,93
Reststoffbehandlung	689	0,11800	81,27
Holzverarbeitung	2.039	0,17636	359,60
Kunststoffverarbeitung	214	0,37500	80,25
Metallverarbeitung	12.642	6,70674	84.786,61
Nahrungsmittel	1.115	7,42942	8.283,80
Steinverarbeitung	135	1,17770	158,99
Lagerei, Erdölverarbeitung und Tankstellen	6.072	2,90604	17.645,47
Sonstige	353	0,17636	62,26
Büro	62.766	0,00013	8,16
Krankenversorgung und öffentliche Dienstleistungen	71.862	0,03270	2.349,89
Fremdenverkehr	6.826	0,15400	1.051,20
	Endenergie [GWh]	Emissionsfaktor CO ₂ äqu [t/GWh]	Emissionen [t CO ₂ äqu]
Elektrischer Strom	571,32	279,0	159.399,41
Erdgas	381,20	235,0	89.582,00

Quelle: Eigene Berechnungen (vgl. Kapitel 3)

Tabelle 43: Überblick über produktionsseitige Bilanzierung (Fortsetzung)

Produktionsseitige Treibhausgasbilanz Graz 2015			
Hausbrand			
	Endenergie [GWh]	Emissionsfaktor CO ₂ äqu [t/GWh]	Emissionen [t CO ₂ äqu]
Fernwärme	940,50	190,0	178.695,00
Erdgas	381,20	235,0	89.582,00
Elektrischer Strom	419,68	279,0	117.089,59
Kohle	48,09	368,7	17.730,00
Heizöl	173,81	340,0	59.096,96
Verkehr			
	Fahrleistung [Fzg-km]	Emissionsfaktor CO ₂ äqu [t/Fzg-km]	Emissionen [t CO ₂ äqu]
Pkw	1.331.224.631,65	0,00014	191.998,91
Lkw	119.376.794,88	0,00067	79.966,24
Bus	6.191.742,47	0,00056	3.488,10
Gesamtemissionen 2015: 1.170.210,20 t CO₂äqu			

Quelle: Eigene Berechnungen (vgl. Kapitel 3)

Tabelle 44: Überblick über die konsumseitige Bilanzierung für Graz 2015

Konsumseitige Treibhausgasbilanz Graz 2015			
Güterklasse	Endnachfrage der Unternehmen, der privaten und der öffentlichen Haushalte [€]	Emissionsfaktor CO ₂ äqu [t/10 ⁶ €]	Emissionen [t CO ₂ äqu]
Landwirtschaftliche Erzeugnisse	95.044.271,91	500,79	47.597,30
Erzeugnisse der Forstwirtschaft und Fischerei	14.176.441,15	949,13	13.455,34
Bergbauerzeugnisse	2.416.811,27	437,58	1.057,54
Lebensmittel	579.912.203,05	323,09	187.365,48
Textilien	290.112.233,87	362,98	105.304,03
Holz, Holzwaren und Kork	4.118.288,05	435,26	1.792,52
Papier, Pappe und Waren daraus;	78.054.783,97	353,73	27.609,96
Kokerei- und Mineralölzeugnisse	178.747.772,93	820,90	146.733,26
Gummi- und Kunststoffwaren	160.634.214,31	590,65	94.878,38
Glas- und Glaswaren, Keramik	16.910.755,84	1.283,83	21.710,49
Metalle und Metallerzeugnisse	91.780.412,60	648,75	59.542,53
Kraftwagen und Kraftwagenteile	379.040.960,52	389,07	147.473,01
Maschinen	378.266.913,22	385,07	145.659,74
Elektrische Ausrüstungen	359.869.903,35	490,51	176.520,33
Elektrischer Strom	120.027.215,23	1.825,52	219.111,65
Gebäude und Bauarbeiten	1.619.697.973,22	329,12	533.074,73
Handelsleistungen	431.782.105,46	234,82	101.392,83
Diensleistungen	1.806.981.177,13	112,52	203.312,86
Öffentliche Dienstleistungen	2.500.446.184,76	132,30	330.820,84
Verkehrsleistungen	357.474.910,83	577,14	206.313,80
Gesamtemissionen 2015: 2.770.726,60 t CO₂äqu			

Quelle: Eigene Berechnungen (vgl. Kapitel 4)

Nun können beide Grundlagen zusammengeführt werden. Wird das Treibhausgasbudget nach globaler Gleichverteilung ab sofort der Stadt Graz zugeteilt, so steht der Stadt Graz ein Budget von rund 42,7 Mio t CO₂äqu zur Verfügung. Wenn in dieser Berechnung auch berücksichtigt wird, dass die Bevölkerungsprognose für Graz ein Wachstum aufweist, das ganz leicht über dem Wachstum der Weltbevölkerung liegt, so erhöht sich das Budget marginal auf 42,8 Mio t CO₂äqu. Will die Stadt Graz ihren Verbrauch bis zur Mitte des Jahrhunderts nun innerhalb dieses Budgets halten, so muss sie ihre konsumseitigen Emissionen um durchschnittlich 5,6% pro Jahr absenken (vgl. Tabelle 45). Wird diese Reduktion auf eine Reduktionsrate pro Kopf umgelegt, entspricht dies aufgrund der steigenden Bevölkerung einer erforderlichen durchschnittlichen Reduktion der Pro-Kopf-Emissionen von sogar 6,4% pro Jahr. Die in

absoluter Höhe erforderliche THG-Emissionsreduktion beträgt hier beispielsweise im ersten Jahr 156 Tausend t CO₂äqu für die konsumseitigen Emissionen der Stadt Graz insgesamt, bzw. 620 kg CO₂äqu pro Kopf (vgl. Tabelle 45).

Wie lässt sich das verfügbare Treibhausgasbudget gemeinsam mit der Kenntnis der aktuellen THG-Emissionen in solch eine erforderliche Reduktionsrate umlegen? Dies hängt freilich von Gestalt und zeitlicher Verteilung des unterstellten Reduktionspfades ab. Eine vielleicht plausibelste, und hier jedenfalls für die Hauptvariante unterstellte, Möglichkeit dafür ist anzunehmen, dass eine jährliche Reduktionsrate im Durchschnitt konstant erhalten wird. Dies bedeutet, dass – startend vom Ausgangs-Emissionsniveau – die absolut erzielte Reduktion zunächst höher ist, mit der Zeit in absoluter Größe jedoch abnimmt, weil es zunehmend schwieriger wird weiter zu reduzieren. Als einen möglichen Pfad dafür wieviel schwieriger es wird, unterstellen wir hier einfach eine Konstanz der relativen Reduktion (bezogen auf das jeweils niedrigere Emissionsniveau), somit eine Konstanz der (durchschnittlichen) Reduktionsrate.

Mathematisch spezifiziert kann die Reduktionsrate für diesen Fall ausgedrückt werden durch

$$\text{Jährliche Reduktionsrate } R = \left(\frac{e^{\text{end}}}{e^{\text{start}}} \right)^{\frac{1}{t^{\text{end}} - t^{\text{start}}}} - 1,$$

wobei $\frac{e^{\text{end}}}{e^{\text{start}}}$ das Verhältnis der Emissionsniveaus zu Beginn und am Ende des Budgetierungsprozesses darstellt, und die Differenz $t^{\text{end}} - t^{\text{start}}$ den Budgetierungszeitraum (2016-2050) beschreibt. Gleichzeitig darf das Budget nicht überschritten werden, zur Ermittlung der geringstmöglichen erforderlichen Reduktionsrate muss es vollständig ausgeschöpft werden, sodass für diesen Fall gilt:

$$\text{THG-Budget} = \sum_{t=t^{\text{start}}}^{t^{\text{end}}} e^{\text{start}} * (1+r)^{t-t^{\text{start}}}$$

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Tabelle 45: Treibhausgasbudget der Stadt Graz, sowie erforderliche (durchschnittliche) jährliche Emissionsreduktion um mit diesem Budget auszukommen

Zuteilungsmethode					
(A) Gleichverteilung pro Kopf (Hauptvariante)					
Zuteilungsmethode, spezifisch	THG-Budget [in t CO₂äqu]	Notwendige Verringerung der THG-Emissionen pro Jahr			
		absolut, im ersten Jahr		als Rate (Ø) ¹	
		Graz gesamt	Pro Kopf	Graz gesamt	Pro Kopf ²
Bevölkerungsverhältnis Graz/Welt 2016	42.747.413	155.820 t			
Bevölkerungsverhältnis Graz/Welt 2016-2050 kumuliert	42.770.249	155.950 t	620 kg	5,6% ³	6,4% ³
(B) Alternative Zuteilungsmethoden, die den Ländern des Südens überproportionale Reduktionsraten auferlegen, Graz jedoch geringere					
Zuteilungsmethode, spezifisch	THG-Budget [in t CO₂äqu]	Notwendige Verringerung der THG-Emissionen pro Jahr			
		Absolut			
		Graz gesamt		Pro Kopf	
		Pro Jahr	Ø pro Jahr	Pro Jahr	Ø pro Jahr
(B.1) Verringerung und Konvergenz (produktionsbasiert)					
- Linearität in den Pro- Kopf-Emissionen	28.695.538	23.523 t	90 kg		
- Linearität in den Gesamtemissionen	26.961.227	23.523 t		90 kg	
(B.2) Verringerung und Konvergenz (konsumbasiert)					
- Linearität in den Pro- Kopf-Emissionen	59.487.078	70.597 t	255 kg		
- Linearität in den Gesamtemissionen	54.970.264	70.597 t		255 kg	

Quelle: Eigene Berechnungen (vgl. Kapitel 5)

¹ Zur Methodik der Ermittlung der durchschnittlichen Reduktionsrate: siehe Haupttext.

² Bevölkerungsdynamik beeinflusst Ergebnis maßgeblich.

³ Basis für die Reduktionswerte bildet das Ergebnis der konsumseitigen THG-Bilanz 2015.

In der Wahl der Zuteilungsmethode des globalen Treibhausgasbudgets auf ein regionales nach dem Ansatz „Gleichverteilung pro Kopf der Weltbevölkerung“ werden Industrieländer wie Österreich bereits insofern großzügig behandelt, als weder historisch höhere Emissionen dieser Länder als Budget-reduzierend eingehen, noch die aus der Nutzung der Infrastruktur erzielten Vorteile, die unter Emissionsausstoß aufgebaut wurde. Beide letztgenannten Argumente könnte man ins Treffen führen, um das Treibhausgasbudget eines Landes wie

Österreich (oder einer darin befindlichen Stadt wie Graz) geringer ausfallen zu lassen, hat doch Österreich (Graz) damit bereits in der Vergangenheit schon seinen Anteil an der Aufnahmekapazität der Atmosphäre für Treibhausgase überproportional genutzt, und profitiert noch immer von der damit erstellten Infrastruktur.

Wird hingegen nicht nur dieser Argumentation zur Verringerung des verfügbaren Treibhausgasbudgets nicht Folge geleistet, sondern werden ganz im Gegenteil sogar Argumente bemüht, Österreich (und damit auch der Stadt Graz) ein sogar größeres Treibhausgasbudget zuzuteilen, so geschieht dies insbesondere über den Ansatz „Verringerung und Konvergenz“. Hierbei wird argumentiert, dass aktuelle Hoch-Emittenten einfach nicht so schnell ihre Emissionen reduzieren können, und daher der Zeitpunkt ab dem die THG-Emissionen pro Kopf global gleichsein sollen, nicht sofort ist, sondern erst in der Zukunft liegt, und bis dahin gegenwärtige Hoch-Emittenten noch höhere Emissionen ermöglicht werden. Im Extremum wird dieser zukünftige Zeitpunkt der globalen Pro-Kopf-Gleichverteilung erst auf das Jahr 2050 gesetzt.

Folgt man diesem – aus globalen Fairnessüberlegungen wohl nicht zulässigen Argument – in dieser Extremvariante, so zeigt sich, dass selbst darin für Graz signifikante Treibhausgasemissionsreduktionen erforderlich sind.

Da dem Ansatz „Verringerung und Konvergenz“ folgend nicht nur das Treibhausgasbudget einzuhalten ist, sondern auch das Pro-Kopf-Emissionsniveau bis zum Konvergenzjahr (2050) auf den global dann gleichen Zielwert abzusenken ist, bietet sich hier als plausibler Emissionsreduktionspfad eine lineare Absenkung der Emissionen an. Im Folgenden wird somit für die Varianten des Treibhausgas-Budgets, die nach dem „Verringerung und Konvergenz“-Ansatz ermittelt wurden, zur Ermittlung des Reduktionsbedarfes für die Emissionsreduktionspfade eine jeweils lineare Emissionsreduktion unterstellt, d.h. eine in jedem Jahr gleich hohe absolute Emissionsreduktion. Wird in der THG-Budgetzuteilung die Bevölkerungsdynamik nicht berücksichtigt, so wird eine konstante absolute Reduktion in den Gesamtemissionen der Stadt unterstellt, wird die Bevölkerungsdynamik schon in der Budgetzuteilung berücksichtigt, eine konstante absolute Reduktion in den Pro-Kopf-Emissionen der Grazer und Grazerinnen unterstellt.

Wird dieser für Graz großzügigere Ansatz der „Verringerung und Konvergenz“ gewählt, so kann innerhalb dieses noch einmal unterschieden werden: wählt man als Start- und Ausgangswert des Emissionsniveaus das produktionsbilanzierte Niveau, so beträgt das Budget 27 Mio t CO₂äqu. Wird dabei auch das in Graz über dem Weltdurchschnitt liegende

Bevölkerungswachstum berücksichtigt, so steigt das Budget auf 28,7 Mio t CO₂äqu an. Beide Werte sind viel geringer als jener nach dem vorigen – weltweit gleichverteilten - Ansatz abgeleitete, weil die produktionsbasierten Emissionen von Städten allgemein signifikant unter denen des nicht-urbanen Raums liegen, also bei einem „Verringerung und Konvergenz“-Ansatz auch der Großteil des Budgets den nicht-urbanen Räumen zugesprochen wird. Umgekehrt „verbraucht“ eine Stadt dann auch jedes Jahr nur einen verhältnismäßig kleinen Anteil dieses Budgets (wenn er eben produktionsseitig bilanziert wird). Die erforderliche Reduktion, will Graz innerhalb dieses Budgets bleiben, bei Zurechnung lediglich der produktionsbilanzierten Emissionen nach diesem großzügigeren, „Verringerung und Konvergenz“-Ansatz, beträgt 23.523 t CO₂äqu pro Jahr, umgelegt auf die erforderliche Reduktion der Pro-Kopf-Emissionen sind dies durchschnittlich 90 kg pro Jahr. Gewährt man Graz aufgrund seiner überdurchschnittlich wachsenden Bevölkerung ein noch größeres THG-Budget, ist es der Stadt möglich, die Gesamtemissionen langsamer abzusenken, wenn sie es linear in den Pro-Kopf-Emissionen tut, können diese nun (nicht nur durchschnittlich, sondern) konstant um 90 kg pro Jahr sinken, was bei wachsender Bevölkerung eine geringere absolute Emissionseinsparung für die Stadt Graz als Ganzes pro Jahr zu Beginn, und eine höhere im späteren Verlauf bedingt; im Durchschnitt freilich beträgt auch hier die absolute Emissionsreduktion für die Stadt als Ganzes 23.523 t CO₂äqu pro Jahr (vgl. Tabelle 45).

Wird hingegen im „Verringerung und Konvergenz“-Ansatz der viel höhere konsumbilanzierte Emissionswert als Ausgangs- und Startwert herangezogen, so ist zwar zum einen das Budget wesentlich höher, 55 Mio t CO₂äqu (bzw., wenn zudem auch die stärker wachsende Bevölkerung berücksichtigt wird, 59,5 Mio t CO₂äqu), aber auch der jährlich davon verbrauchte Anteil. Für einen Verbleib innerhalb dieses Budgets ist dann – wenn die Emissionen hier konsumseitig bilanziert werden – eine Reduktion pro Jahr um (durchschnittlich) rund 70.600 t CO₂äqu erforderlich, bzw. (durchschnittlich) um 255 kg pro Person und Jahr (vgl. Tabelle 45). Eine solche Umverteilung der Emissionsreduktionserfordernisse auf die Länder des Südens, die offensichtlich Fairnessüberlegungen verletzt, würde somit eine langsamere Emissionsreduktion in Graz ermöglichen, in der gewählten Extremvariante (Konvergenz erst 2050) für das erste Jahr in etwa halbieren, langfristig wäre freilich das gleiche Pro-Kopf-Niveau an Emissionen zu erreichen, im hier unterstellten Extremfall erst im Jahr 2050, und somit im weiteren Verlauf die absoluten Emissionsreduktionen gegengleich anzuheben.

7. Literaturverzeichnis

- BBSR (2017), CO₂-neutral in Stadt und Quartier – die europäische und internationale Perspektive, *BBSR-Online-Publikation* 3. Online verfügbar unter:
http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2017/bbsr-online-03-2017-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=4 [10.04.2018].
- British Standards Institute (2013), PAS 2070:2013: Specifications for the assessment of greenhouse gas emissions of a city - Direct plus supply chain and consumption-based methodologies.
- British Standards Institute (2014), Application of PAS 2070 - London, United Kingdom: An assessment of greenhouse gas emissions of a city. Online verfügbar unter:
https://shop.bsigroup.com/upload/PAS2070_case_study_bookmarked.pdf [10.04.2018].
- Brohé, A. (2017), *The handbook of carbon accounting*, London, Routledge, Taylor & Francis Group.
- Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. (2002). BGBl. II Nr. 214/2002 Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Inhalt und Umfang der Emissionskataster. Emissionskatasterverordnung [10.04.2018]. Online verfügbar unter:
http://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/2002_214_2/2002_214_2.pdf.
- Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2017), Bundes-Abfallwirtschaftsplan: Teil 1.
- C40 (2018), Consumption-based GHG emissions of C40 cities.
- Caney, S. (2009), Justice and the distribution of greenhouse gas emissions, *Journal of Global Ethics* 5(2), S. 125–46.
- CDIAC: Carbon Dioxid Information Analysis Center (2018), Global Carbon Budget. Online verfügbar unter: <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/18/data.htm> [25.08.2019].
- Davis, S., G. Peters und K. Caldeira (2011), The supply chain of co₂ emissions, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108(45), S. 18554–59.
- Dippold, M., M. Fellendorf, S. Flucher, M. Haberl, S. Hausberger, H. Heinfellner, K. Hofer, G. Lichtblau und C. Nagl (2018), Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität in Graz: Quantifizierung und Beurteilung.
- Dodman, D. (2009), Blaming cities for climate change?: An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories, *Environment and Urbanization* 21(1), S. 185–201.
- Du Pont, Y., M. Jeffery, J. Gütschow, P. Christoff und M. Meinshausen (2016), National contributions for decarbonizing the world economy in line with the G7 agreement, *Environmental Research Letters* 11(5), S. 54005.
- Du Pont, Y., M. Jeffery, J. Gütschow, J. Rogelj, P. Christoff und M. Meinshausen (2017), Equitable mitigation to achieve the Paris Agreement goals, *Nature Climate Change* 7(1), S. 38–43.
- Energie Graz (2016), Graz entwickelt sich: Geschäftsbericht 2016.

- Fong, W., M. Sotos, M. Doust, S. Schultz, A. Marques, C. Deng-Beck, A. Kovac, P. Bhatia, B. Russell, E. Morris, M. van Staden, Y. Arikan, A. Eichel, J. Dickinson, R. Desai und D. Hoornweg (2014), Global protocol for community-scale greenhouse gas emission inventories: An accounting and reporting standard for cities.
- Gassmann, F. (1994), *Was ist los mit dem Treibhaus Erde*, Wiesbaden, Vieweg+Teubner Verlag.
- Gemeindebetriebe Frohnleiten GmbH (2019), Abfall | Behandlung | Deponie. Online verfügbar unter: <https://www.gemeindebetriebe.at/abfall-behandlung-deponie/> [14.04.2019].
- Gignac, R. und H. Matthews (2015), Allocating a 2 °C cumulative carbon budget to countries, *Environmental Research Letters* 10(7), S. 75004.
- Grazer Energieagentur (2013), Emissionsreduktion durch die Fernwärme im Großraum Graz: Update 2012.
- Gurney, K., D. Mendoza, Y. Zhou, M. Fischer, C. Miller, S. Geethakumar und S. de La Rue Can (2009), High Resolution Fossil Fuel Combustion CO₂ Emission Fluxes for the United States, *Environmental science & technology* 43(14), S. 5535–41.
- Hausberger, S. (2010), Erstellung globaler Emissionsdaten für Österreichische Kfz von 1950 bis 2030.
- Heiden, B., M. Henn, M. Hinterhofer, O. Schechtner und K. Zelle (2008a), Endbericht Emissionskataster Graz 2001.
- Heiden, B., M. Henn, M. Hinterhofer, O. Schechtner und K. Zelle (2008b), Teilbericht Industrie und Gewerbe/Hausbrand Emissionskataster Graz 2001.
- Heiden, B., M. Henn, M. Hinterhofer, O. Schechtner und K. Zelle (2008c), Teilbericht Verkehr Emissionskataster Graz 2001.
- Höhne, N., M. den Elzen und D. Escalante (2013), Regional GHG reduction targets based on effort sharing: A comparison of studies, *Climate Policy* 14(1), S. 122–47.
- Holding Graz (2011), Geschäftsbericht 2010.
- Holding Graz (2012), Geschäftsbericht 2011.
- Holding Graz (2013), Geschäftsbericht 2012.
- Holding Graz (2014), Geschäftsbericht 2013.
- Holding Graz (2015), Geschäftsbericht 2014.
- Holding Graz (2016), Geschäftsbericht 2015.
- Holding Graz (2017a), Der Grazer Wasserkreislauf. Online verfügbar unter: <https://www.holding-graz.at/graz-wasserwirtschaft/wissenswertes/grazer-wasserkreislauf.html> [14.04.2019].
- Holding Graz (2017b), Geschäftsbericht 2016.
- Hoornweg, D., L. Sugar und C. Trejos Gómez (2011), Cities and greenhouse gas emissions: moving forward, *Environment and Urbanization* 23(1), S. 207–27.

- IIASA (2018), SSP Public Database.
- IPCC (1995), *Climate Change 1995: The Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- IPCC (2001), *Climate Change 2001: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- IPCC (2006), Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC (2007), *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, Switzerland.
- 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*, Geneva, Switzerland.
- IPCC (2015), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- IPCC (2018), EFDB - Emission Factor Database. Online verfügbar unter: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php> [20.04.2019].
- Joanneum Research (2019), Wirtschaftspolitisches Berichts- und Informationssystem: Aktivbeschäftigte nach Wirtschaftsklassen. Online verfügbar unter: <https://wibis-steiermark.at/arbeit/unselbstaendig-beschaefigte/bezirke-und-wirtschaftsklassen/wibis/aktivbeschaefigte-nach-wirtschaftsklassen-bezirke/graz-stadt/zeitreihe/> [17.04.2019].
- Kanalbauamt Graz (2007), Die Kläranlage der Stadt Graz: Wasser pur für die Mur!
- Kuschnig, R. und M. Richtig-Czerni. (2014), Sturzgasse Graz - Neudefinition einer gewachsenen Struktur: Das kommunale Dienstleistungszentrum im Stadtambiente. Diplomarbeit. Graz: Technische Universität Graz, Institut für Gebäudelehre.
- Land Steiermark (2011), Abfall und Stoffflüsse, *Umweltbericht 23*.
- Land Steiermark (2018), Klimaschutzplan Steiermark: Klimaschutzbericht 2017. Online verfügbar unter: http://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11514048_67473811/118a08cc/Klimaschutzbericht%202017.pdf [15.04.2019].
- Le Quéré, C., R. Andrew, J. Canadell, S. Sitch, J. Korsbakken, G. Peters, A. Manning, T. Boden, P. Tans, R. Houghton, R. Keeling, S. Alin, O. Andrews, P. Anthoni, L. Barbero, L. Bopp, F. Chevallier, L. Chini, P. Ciais, K. Currie, C. Delire, S. Doney, P. Friedlingstein, T. Gkritzalis, I. Harris, J. Hauck,

- V. Haverd, M. Hoppema, K. Klein Goldewijk, A. Jain, E. Kato, A. Körtzinger, P. Landschützer, N. Lefèvre, A. Lenton, S. Lienert, D. Lombardozzi, J. Melton, N. Metzler, F. Millero, P. Monteiro, D. Munro, J. Nabel, S.-i. Nakaoka, O', K. Brien, A. Olsen, A. Omar, T. Ono, D. Pierrot, B. Poulter, C. Rödenbeck, J. Salisbury, U. Schuster, J. Schwinger, R. Séférian, I. Skjelvan, B. Stocker, A. Sutton, T. Takahashi, H. Tian, B. Tilbrook, I. van der Laan-Luijkx, G. van der Werf, N. Viovy, A. Walker, A. Wiltshire und S. Zaehle (2016), Global Carbon Budget 2016, *Earth System Science Data* 8(2), S. 605–49.
- Le Quéré, C., R. Andrew, P. Friedlingstein, S. Sitch, J. Pongratz, A. Manning, J. Korsbakken, G. Peters, J. Canadell, R. Jackson, T. Boden, P. Tans, O. Andrews, V. Arora, D. Bakker, L. Barbero, M. Becker, R. Betts, L. Bopp, F. Chevallier, L. Chini, P. Ciais, C. Cosca, J. Cross, K. Currie, T. Gasser, I. Harris, J. Hauck, V. Haverd, R. Houghton, C. Hunt, G. Hurtt, T. Ilyina, A. Jain, E. Kato, M. Kautz, R. Keeling, K. Klein Goldewijk, A. Körtzinger, P. Landschützer, N. Lefèvre, A. Lenton, S. Lienert, I. Lima, D. Lombardozzi, N. Metzler, F. Millero, P. Monteiro, D. Munro, J. Nabel, S.-i. Nakaoka, Y. Nojiri, X. Padín, A. Peregón, B. Pfeil, D. Pierrot, B. Poulter, G. Rehder, J. Reimer, C. Rödenbeck, J. Schwinger, R. Séférian, I. Skjelvan, B. Stocker, H. Tian, B. Tilbrook, I. van der Laan-Luijkx, G. van der Werf, S. van Heuven, N. Viovy, N. Vuichard, A. Walker, A. Watson, A. Wiltshire, S. Zaehle und D. Zhu (2017), Global Carbon Budget 2017, *Earth System Science Data Discussions*, S. 1–79.
- Magistrat Graz (2017), Graz in Zahlen 2017.
- Marques, A., J. Rodrigues, M. Lenzen und T. Domingos (2012), Income-based environmental responsibility, *Ecological Economics* 84, S. 57–65.
- Meyer, L. und K. Steininger (2017), Das Treibhausbudget für Österreich, *Wegener Center Report 71-2017* ISBN: 978-3-9503918-8-6.
- Mi, Z., D. Guan, Z. Liu, J. Liu, V. Vigié, N. Fromer und Y. Wang (2019), Cities: The core of climate change mitigation, *Journal of Cleaner Production* 207, S. 582–89.
- Millar, R., J. Fuglestedt, P. Friedlingstein, J. Rogelj, M. Grubb, H. Matthews, R. Skeie, P. Forster, D. Frame und M. Allen (2017), Emission budgets and pathways consistent with limiting warming to 1.5 °C, *Nature Geoscience* 10(10), S. 741–47.
- ÖROK (2014), ÖROK-Bevölkerungsprognose 2014 bis 2075. Online verfügbar unter: <https://www.oerok.gv.at/raum-region/daten-und-grundlagen/oerok-prognosen/oerok-prognosen-2014.html> [25.12.2017].
- Österreichische Nationalbank (2018), Referenzkurse der EZB. Online verfügbar unter: <https://www.oenb.at/isaweb/report.do?report=2.14.5> [12.08.2019].
- Österreichischer Städtebund (2016), Österreichs Städte in Zahlen 2015.
- PBL Netherlands Environmental Assessment Agency (2016), Cities in Europe: Facts and figures on cities and urban areas. Online verfügbar unter:

- <https://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL-2016-Cities-in-Europe-2469.pdf>
[11.12.2018].
- Peters, G. (2008), From production-based to consumption-based national emission inventories, *Ecological Economics* 65(1), S. 13–23.
- Pischinger, R. und P. Sturm (1997), CO₂-Emissionsbilanz aufgrund des Energiebedarfes der Stadt Graz im Bezugsjahr 1995.
- Ramaswami, A. und A. Chavez (2013), What metrics best reflect the energy and carbon intensity of cities?: Insights from theory and modeling of 20 US cities, *Environmental Research Letters* 8(3), S. 35011.
- Ritchie, H. und M. Roser (2017), CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. Online verfügbar unter:
<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#per-capita-co2-emissions>
[02.09.2019].
- Rockström, J., O. Gaffney, J. Rogelj, M. Meinshausen, N. Nakicenovic und H. Schellnhuber (2017), A roadmap for rapid decarbonization, *Science (New York, N.Y.)* 355(6331), S. 1269–71.
- Rueda-Cantuche, J., T. Revesz, A. Amores, M. Mraz, E. Ferrari, A. Mainar, L. Montinari und B. Saveyn (2010), The EU28 GTAP Input-Output Tables.
- Stadt Graz (2012), Bevölkerungsprognose für die Landeshauptstadt Graz 2012-2031. Online verfügbar unter:
http://www1.graz.at/Statistik/bev%C3%B6lkerung/Bev%C3%B6lkerungsprognose_2011_2031.pdf
[27.08.2019].
- Stadt Graz (2015), Graz in Zahlen 2015.
- Stadt Graz (2017), Graz in Zahlen 2017.
- Stadt Wien (2017), Energie! Voraus: Energiebericht der Stadt Wien. Online verfügbar unter:
<https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/energiebericht2017.pdf> [19.12.2018].
- Statistik Austria (2016), Konsumerhebung 2014/15.
- Statistik Austria (2017), Abgestimmte Erwerbsstatistik 2015: Haushalte und Familien. Online verfügbar unter:
https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/volkszaehlungen_registerzaehlungen_abgestimmte_erwerbsstatistik/haushalte/index.html [09.09.2019].
- Statistik Austria (2019a), Bevölkerung im Jahresdurchschnitt. Online verfügbar unter:
https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/bevoelkerung_sstand_und_veraenderung/bevoelkerung_im_jahresdurchschnitt/022311.html [09.09.2019].
- Statistik Austria (2019b), Verbraucherpreisindex. Online verfügbar unter:
https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/preise/verbraucherpreisindex_vpi_hvpi/index.html [09.09.2019].

- Steininger, K., C. Lininger, L. Meyer, P. Muñoz und T. Schinko (2016), Multiple carbon accounting to support just and effective climate policies, *Nature Climate Change* 6(1), S. 35.
- Steininger, K., P. Munoz, J. Karstensen, G. Peters, R. Strohmaier und E. Velázquez (2018), Austria's consumption-based greenhouse gas emissions: Identifying sectoral sources and destinations, *Global Environmental Change* 48, S. 226–42.
- Umweltamt Graz (o. J.), Bioabfall und Grünschnitt. Online verfügbar unter: <https://www.umwelt.graz.at/cms/ziel/6770287/DE/> [09.04.2019].
- Umweltamt Graz (2018), Energiemasterplan Graz: Zwischenbericht 2018.
- Umweltamt Graz, Energie Graz, Energie Steiermark, Holding Graz und Grazer Energie Agentur (2016), Wärmebereitstellung für die fernwärmeversorgten Objekte im Großraum Graz: Statusbericht 2016.
- Umweltbundesamt (2018a), Berechnung von Treibhausgasemissionen verschiedener Energieträger. Online verfügbar unter: <http://www5.umweltbundesamt.at/emas/co2mon/co2mon.html> [08.07.2018].
- Umweltbundesamt (2018b), Bundesländer Luftschadstoffinventur 1990-2016.
- Umweltbundesamt (2018c), Die Treibhausgase. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase> [03.12.2018].
- UNFCCC (1998a), Decision 2/CP.3. Methodological issues related to the Kyoto Protocol.: FCCC/CP/1997/7/Add.1.
- UNFCCC (1998b), Kyoto Protocol to the Framework Convention on Climate Change.
- United Nations (2017), World Population Prospects: The 2017 Revision.
- WBGU (2009), *Kassensturz für den Weltklimavertrag - der Budgetansatz: Sondergutachten*, Berlin, Wiss. Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen.
- Wegener Zentrum, TU Graz und Joanneum Research (2010a), Erläuterungen zum Klimaschutzplan Steiermark 2010: Teil 2: Gebäude. Online verfügbar unter: http://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11514048_67473811/a047b2f8/Band2_3007.pdf [15.04.2019].
- Wegener Zentrum, TU Graz und Joanneum Research (2010b), Erläuterungen zum Klimaschutzplan Steiermark 2010: Teil 5: Produktion. Online verfügbar unter: http://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11514048_67473811/1b87bf38/Band_5_Produktion_201008.pdf [15.04.2019].
- Wegener Zentrum, TU Graz und Joanneum Research (2010c), Erläuterungen zum Klimaschutzplan Steiermark 2010: Teil 6: Energiebereitstellung. Online verfügbar unter: http://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11514048_67473811/ed0b9444/Band_6_Energiebereitstellung_201008.pdf [15.04.2019].

- Weltbank (o. J.), The World Bank Atlas Method - Detailed Methodology. Online verfügbar unter: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/378832-the-world-bank-atlas-method-detailed-methodology> [09.09.2019].
- Weltbank (2018a), What is the SDR deflator? Online verfügbar unter: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/378829-what-is-the-sdr-deflator> [12.08.2019].
- Weltbank (2018b), World Development Indicators: Inflation, GDP deflator. Online verfügbar unter: <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&series=NY.GDP.DEFL.KD.ZG&country=AUT> [12.08.2019].
- Weltbank (2019), Population estimates and projections. Online verfügbar unter: <https://databank.worldbank.org/source/population-estimates-and-projections> [27.08.2019].
- Wiedmann, T., G. Chen und J. Barrett (2016), The concept of city carbon maps: A case study of Melbourne, Australia, *Journal of Industrial Ecology* 20(4), S. 676–91.
- Wieland, H. (2016), Der Carbon Footprint Österreichs: Eine Zeitreihenanalyse von 1970 bis 2012, *Kurswechsel* 3, S. 19–29.
- Windisch, D. (2018), Neue Kläranlage soll Mikroplastik stoppen. Online verfügbar unter: <https://www.grazer.at/de/KMXcYsuP/neue-klaeranlage-soll-mikro-plastik-stoppen/?page=1&q=kl%C3%A4ranlage> [14.04.2019].
- Wolking, B., W. Haas, G. Bachner, U. Weisz, K. Steininger, H.-P. Hutter, J. Delcour, R. Griebler, B. Mittelbach, P. Maier und R. Reifeltshammer (2018), Evaluating health co-benefits of climate change mitigation in urban mobility, *International journal of environmental research and public health* 15(5).
- ZIS+P (2014), Mobilitätsverhalten der Grazer Wohnbevölkerung 2013.

8. Anhang

Tabelle 46: Industrie- und Gewerbebereichsklassifizierung

Fachbereichscode und -beschreibung		WIBIS (ÖNACE 2008)
B_1	Baugewerbe	F Bauwesen
I_8	Innenausbau	
C_10	Lösungsmittelindustrie	19 Mineralölverarbeitung 20 chemische Erzeugnisse 21 pharmazeutische Erzeugnisse
D_2	Druckerei	18 Druckereierzeugnisse, Vervielfältigung von Datenträgern J Information und Kommunikation
G_5	Gartenbau/Landwirtschaft	A Primärsektor
GW_6	Gaswerk	D-E Energie- und Wasserversorg., Entsorgung u. Rückgewinnung
KW_3	Fernheizkraftwerk	
R_13	Reststoffbehandlung	
H_7	Holzverarbeitung	16 Herstellung von Holzwaren; Korbwaren 17 H.v. Papier/Pappe und Waren daraus 31-33 Möbel, sonst. Waren, Reparatur/Installation v. Maschinen
K_9	Kunststoffverarbeitung	22 Gummi- und Kunststoffwaren
M_11	Metallverarbeitung	24 Metallerzeugung und -bearbeitung 25 Herstellung von Metallerzeugnissen 26-27 Elektrotechnik und Elektronik 28 Maschinenbau 29-30 Fahrzeugbau, sonstiger Fahrzeugbau
N_12	Nahrungsmittel	10-12 Nahrungs-, Futtermittel-, Getränkeherstellung u. Tabakverarb.
S_14	Steinverarbeitung	B Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden 23 Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen u. Erden
T_15	Tankstellen	H Verkehr und Lagerei
UBB	Sonstige	13-14 Textilien und Bekleidung 15 Leder, Lederwaren und Schuhe
Büro	Raumwärme Industrie und Gewerbe	G Handel, Reparatur K Finanz- und Versicherungsdienstleistungen L-N Wirtschaftsdienste R-U Sonstige Dienstleistungen
KH_16	Krankenhaus	O-Q Öffent. Verwaltung, Unterrichtsw., Gesundheits- u. Sozialw.

Quelle: Heiden et al. (2008b), Joanneum Research (2019), Eigene Verknüpfung

Tabelle 47: NACE-GTAP-Korrespondenz

NACE Rev. 2 Codes	GTAP Code	Description of GTAP sectors
01	1 PDR	Paddy rice
	2 WHT	Wheat
	3 GRO	Cereal grains nec (not elsewhere classified)
	4 V_F	Vegetables, fruit, nuts
	5 OSD	Oil seeds
	6 C_B	Sugar cane, sugar beet
	7 PFB	Plant-based fibres
	8 OCR	Crops nec
	9 CTL	Bovine cattle, sheep and goats, horses
	10 OAP	Animal products nec
	11 RMK	Raw milk
	12 WOL	Wool, silk-worm cocoons
02	13 FRS	Forestry
03	14 FSH	Fishing
05, 06, 07, 08, 09	15 COA	Coal
	16 OIL	Oil
	17 GAS	Natural gas
	18 OMN	Mineral nec
10, 11, 12	19 CMT	Bovine meat products
	20 OMT	Meat products nec
	21 VOL	Vegetable oils and fats
	22 MIL	Dairy products
	23 PCR	Processed rice
	24 SGR	Sugar
	25 OFD	Food products nec
	26 B_T	Beverages and tobacco products
13, 14, 15	27 TEX	Textiles
	28 WAP	Wearing apparel
	29 LEA	Leather products
16	30 LUM	Wood products
17, 18, 58, part of 59	31 PPP	Paper products, publishing
19	32 P_C	Petroleum, coal products
20, 21, 22	33 CRP	Chemical, rubber, plastic products
23	34 NMM	Mineral products nec
24	35 I_S	Ferrous metals
	36 NFM	Metals nec
25	37 FMP	Metal products
29	38 MVH	Motor vehicles and parts

Tabelle 47: NACE-GTAP-Korrespondenz (Fortsetzung)

NACE Rev. 2 Codes	GTAP Code	Description of GTAP sectors
30	39 OTN	Transport equipment nec
26	40 ELE	Electronic equipment
27, 28, 33	41 OME	Machinery and equipment nec
31, 32	42 OMF	Manufactures nec
35	43 ELY	Electricity
	44 GDT	Gas manufacture, distribution
36	45 WTR	Water
41, 42, 43	46 CNS	Construction
45, 46, 47, 55, 95	47 TRD	Trade
49, 52, 79	48 OTP	Transport nec
50	49 WTP	Water transport
51	50 ATP	Air transport
53, 61	51 CMN	Communication
64, 66	52 OFI	Financial services nec
65	53 ISR	Insurance
62, part of 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74	54 OBS	Business services nec
90, 91, 92, 93, 96, 97, part of 59	55 ROS	Recreational and other services
37, 38, 39, 75, 84, 85, 86, 87, 88, 94	56 OSG	Public administration, defense, education, health
part of 68 (imputed rent)	57 DWE	Dwellings

Quelle: Rueda-Cantucho et al. (2010)

Tabelle 48: GTAP-INNOVATE-Korrespondenz

GTAP 9 Code	Description	INNOVATE Code	
1-8;11	Agriculture, vegetarian	AVEG	1
9;10;12	Agriculture, meat	AMEA	2
13;14;18	Extraction	EXT	3
15	Coal	COA	4
16	Oil	OIL	5
17;44	Gas	GAS	6
21-26	Vegetarian food products	VEG	7
19;20	Meat food products	MEA	8
27-29	Textiles	TEX	9
30	Wood products	WOOD	10
31	Paper products, publishing	PPP	11
32	Petroleum, coal products	P_C	12
33	Chemical, rubber, plastic products	CRP	13
34	Mineral products nec	NMM	14
35	Ferrous metals	I_S	15
36; 37	Metals nec	MET	16
38;39	Motor vehicles and parts	MVE	17
41	Machinery and equipment nec	TEO	18
40;42	Electronic equipment	TEC	19
43	Electricity	ELY	20
46	Construction	CNS	21
47	Trade	TRD	22
51-55;57	Services	SERV	23
45;56	Other Services Government	OSG	24
48-50	Transport	TRN	25

Quelle: Steininger et al. (2018)

Tabelle 49: Prognostizierte Bevölkerungsentwicklung Welt und Graz 2016-2050

Jahr	Bevölkerung Welt	Bevölkerung Graz
2016	7.329.258.499	286.686
2017	7.400.879.184	289.789
2018	7.472.058.001	292.827
2019	7.542.703.738	295.800
2020	7.612.729.356	298.710
2021	7.682.051.990	301.556
2022	7.750.592.951	304.337
2023	7.818.277.720	307.054
2024	7.885.035.955	309.707
2025	7.950.801.489	312.296
2026	8.015.512.325	314.821
2027	8.079.110.643	317.282
2028	8.141.542.798	319.679
2029	8.202.759.315	322.012
2030	8.262.714.898	324.280
2031	8.321.368.420	326.484
2032	8.378.682.933	328.625
2033	8.434.625.658	330.701
2034	8.489.167.994	332.713
2035	8.542.285.512	334.660
2036	8.593.957.958	336.544
2037	8.644.169.252	338.364
2038	8.692.907.486	340.119
2039	8.740.164.929	341.811
2040	8.785.938.022	343.438
2041	8.830.227.382	345.001
2042	8.873.037.796	346.500
2043	8.914.378.230	347.935
2044	8.954.261.821	349.306
2045	8.992.705.881	350.612
2046	9.029.731.895	351.855
2047	9.065.365.524	353.033
2048	9.099.636.600	354.148
2049	9.132.579.132	355.198
2050	9.164.231.303	356.184

Quelle: Stadt Graz (2017), ÖROK (2014), IIASA (2018), United Nations (2017), eigene Berechnungen

Zum Inhalt:

Städte beherbergen weltweit bereits mehr als die Hälfte aller Menschen und sind für rund drei Viertel des globalen Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Sie sind aber nicht nur Hauptverursacher des Klimaproblems, sondern können aufgrund ihrer Kapazitäten und Ressourcen zur Lösung des Problems entscheidend beitragen. Zur Sichtbarmachung wie sehr konkrete, klimapolitische Maßnahmen auf städtischer Ebene zu setzen sind, kann sowohl die Ausgangssituation, in Form von Treibhausgasbilanzen, analysiert und Ziele, in Form von einem Auskommen mit noch zulässigen Treibhausgasemissionen, dem sogenannten Treibhausgasbudget, abgesteckt werden.

Durch den Einsatz der zwei zentralen, unterschiedlichen Bilanzierungsmethoden (produktions- und konsumseitig) werden in der vorliegenden Studie die der Stadt Graz zuzurechnenden Treibhausgasemissionen ermittelt, nach der produktionsseitigen Bilanzierung sind die für die Stadt Graz im Jahr 2015 Emissionen in Höhe von 1.170.210 t CO₂äqu (4,1 t CO₂äqu pro Kopf), nach der konsumseitigen Bilanzierung sind dies 2.770.730 t CO₂äqu (9,7 t CO₂äqu pro Kopf). Basierend auf diesen bilanzierten Treibhausgasemissionen ergibt sich ein Treibhausgasbudget für den Zeitraum von 2016 bis 2050 für Graz im Umfang von 42,75 Mio. t CO₂äqu. Um mit diesem Budget auszukommen, müssen die Emissionen jährlich um durchschnittlich 5,6% sinken.

Der vorliegende Bericht beschreibt die zugrunde liegenden Analysen im Detail und zeigt, dass effektiver Klimaschutz einer mannigfaltigen Politik auf allen Ebenen, in allen Bereichen des Lebens bedarf und nur durch Zusammenarbeit von Politik, Unternehmen und Konsumenten das Klima ausreichend umfangreich geschützt werden kann.