

Berechnung Paris-kompatibler Emissionspfade mit dem ESPM am Beispiel Deutschlands und der EU

DOI 10.5281/zenodo.7837420

veröffentlicht auf [Zenodo](#)

Prof. Manfred Sargl
M.Sc. M.A. Dr. Daniel Wiegand
Dipl.-Mathematiker Günter Wittmann
Dipl.-Volkswirt Andreas Wolfsteiner

Stand: 17.04.2023

Datenstand:
EEA: Juni 2022
UBA: April 2023

Das hier verwendete Extended Smooth Pathway Model (ESPM) bietet einen Rahmen,
um Paris-kompatible nationale Emissionspfade herzuleiten.

Am Beispiel Deutschlands und der EU werden exemplarische Emissionsziele gezeigt.

Dieses Papier stellt auch ein Update unserer Veröffentlichung im Journal „Wirtschaftsdienst“
zur [EU](#) aufgrund neuerer Daten dar (Wiegand, et al., 2021).

Hinweisen möchten wir auch auf ein analoges Papier zu den [sechs größten Emittenten](#) (Sargl, et al., 2022a).

Inhalt

Einleitung	3
Globale CO ₂ -Budgets	4
Das Extended Smooth Pathway Model	6
Bestimmung nationaler Budgets	6
Bestimmung nationaler Emissionspfade	6
Die RM-Szenariotypen	7
Mengen-Overshoot.....	10
Szenariotypen aus einer klimapolitischen Gesamtschau.....	11
Exemplarische Emissionsziele für Deutschland und die EU.....	12
Schlussfolgerungen	14
Literaturverzeichnis.....	15
Anhang	19
Anhang 1: Tools zum ESPM.....	19
Anhang 2: Zeitpunkt Aufteilung eines globalen CO ₂ -Budgets	20
Anhang 3: Implizites deutsches CO ₂ -Budget und implizite Gewichtung Bevölkerung.....	21

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Exemplarische jährliche Veränderungssätze für Deutschland	8
Abb. 2: Exemplarische Emissionspfade für Deutschland	8

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Verbleibende globale CO ₂ -Budgets ab 2020.....	4
Tab. 2: Übersicht RM-Szenariotypen.....	9
Tab. 3: Exemplarische CO ₂ -Budgets Deutschland / EU bei einem globalen Budget von 550 Mrd. t.....	12
Tab. 4: Exemplarische Emissionsziele für Deutschland – globales Budget 550 Mrd. t / Bevölkerung 50%.....	12
Tab. 5: Exemplarische Emissionsziele für die EU – globales Budget 550 Mrd. t / Bevölkerung 50%.....	13
Tab. 6: Deutsche CO ₂ -Budgets in der Logik des SRU.....	20
Tab. 7: Implizite Gewichtung Bevölkerung aufgrund eines impliziten CO ₂ -Budgets für Deutschland.....	21

Einleitung

CO₂ reichert in sich der Atmosphäre an. Daher ist die Summe an CO₂-Emissionen entscheidend für die Einhaltung bestimmter Grenzen der Erderwärmung. Auf dieser naturwissenschaftlichen Grundlage fordern z. B. „Fridays for Future“, dass sich nationale Emissionspfade an einem verbleibenden globalen CO₂-Budget orientieren sollen.

Bei der Umsetzung stellen sich jedoch folgende Fragen:

- An welchem konkreten global verbleibenden CO₂-Budget sollen sich die Staaten bei ihren NDCs orientieren?
- An welcher Aufteilung eines globalen CO₂-Budgets sollen sich Staaten bei ihren NDCs orientieren?¹
- Wie kann ein daraus resultierendes national verbleibendes CO₂-Budget in einen sinnvollen Emissionspfad übersetzt werden?

Das Extended Smooth Pathway Model (ESPM) bietet einen Rahmen, um diese Fragen beantworten zu können.

¹ Das Konzept der Nationally Determined Contributions (NDCs) wurde im Artikel 4 des Pariser Abkommen eingeführt (Bottom-Up-Ansatz). Im Rahmen des Pariser Ambitionsmechanismus sollen die Staaten immer ehrgeizigere NDCs vorlegen, bis diese in Summe Paris-kompatibel sind.

Auf der UN-Klimakonferenz in Glasgow 2021 (COP26) wurde zum Nachbesserungsprozess Folgendes beschlossen (CMA.3/-Decision, 2021):

„29. Recalls Article 3 and Article 4, paragraphs 3, 4, 5 and 11, of the Paris Agreement and requests Parties to revisit and strengthen the 2030 targets in their nationally determined contributions as necessary to align with the Paris Agreement temperature goal by the end of 2022, taking into account different national circumstances;

30. Also requests the secretariat to annually update the synthesis report on nationally determined contributions under the Paris Agreement, referred to in decision 1/CMA.2, paragraph 10, to be made available to the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement at each of its sessions;“

Vor der UN-Klimakonferenz in Ägypten (COP27) hat das UNFCCC-Sekretariat in seinem Synthesebericht Folgendes festgehalten (UNFCCC, 2022):

“14. The contribution of Working Group III to the AR6 (...) concludes that, in scenarios of limiting warming to 1.5 °C (with over 50 per cent likelihood by 2100) with no or limited overshoot, GHG emissions are reduced by 43 (34–60) per cent by 2030 relative to the 2019 level. (...).

15. Full implementation of all latest NDCs (including all conditional elements) is estimated to lead to a 3.6 (0.7–6.6) per cent emission reduction by 2030 relative to the 2019 level; while implementation of all latest NDCs excluding any conditional elements is estimated to result in 3.1 (0.2–6.0) per cent higher emissions in 2030 than in 2019.

18. In the context of the carbon budget consistent with 50 per cent likelihood of limiting warming to 1.5 °C (500 Gt CO₂), cumulative CO₂ emissions in 2020–2030 based on the latest NDCs would likely use up 86 per cent of the remaining carbon budget, leaving a post-2030 carbon budget of around 70 Gt CO₂, which is equivalent to approximately two years of projected total global CO₂ emissions by 2030. (...).“

Globale CO₂-Budgets

Zu den verbleibenden globalen CO₂-Budgets hat der IPCC in seinem Sechsten Sachstandsbericht 2021 (Arbeitsgruppe I) folgende Zahlen veröffentlicht:

Warming	Remaining carbon budgets			Scenario variation	Geophysical uncertainties			
				Non-CO ₂ scenario variation	Non-CO ₂ forcing and response uncertainty	Historical temperature uncertainty	ZEC uncertainty	Recent emissions uncertainty
<i>Probabilities:</i>	50%	67%	83%					
[°C]	[GtCO ₂ from 2020 on]				[GtCO ₂]			
1.5	500	400	300	±220	±220	±550	±420	±20
1.6	650	550	400					
1.7	850	700	550					
1.8	1000	850	650					

Tab. 1: Verbleibende globale CO₂-Budgets ab 2020²

Die Notwendigkeit der Bewertung sozioökonomischer Folgen bei der Geschwindigkeit der Dekarbonisierung, die angegebenen Wahrscheinlichkeiten, die Szenariovariation bei den Nicht-CO₂-Treibhausgasen, geophysikalische Unsicherheiten und der Sachverhalt, dass der naturwissenschaftliche Kenntnisstand nicht statisch ist, machen deutlich, dass die Entscheidung über ein globales CO₂-Budget, an dem sich NDCs orientieren, zwar wissenschaftlich basiert, aber letztendlich eine politische sein muss. Das deutsche Bundesverfassungsgericht hat in seinem wegweisenden Urteil 2021 dabei klargestellt: Klimapolitik muss sich an verbleibenden CO₂-Restbudgets orientieren (vgl.

² Grundlagen für Tab. 1 sind die Tabellen SPM.2 und 5.8 im Sechsten Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I des IPCC (vgl. IPCC, 2021). Hier werden nur die Budgets bis zu einer Erderwärmung von 1,8°C angegeben, da das Pariser Abkommen eine deutliche Unterschreitung der 2°C-Grenze vorsieht.

In der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger führt der IPCC aus (IPCC, 2021):

„D.1.1 (...) there is a near-linear relationship between cumulative anthropogenic CO₂ emissions and the global warming they cause. Each 1000 GtCO₂ of cumulative CO₂ emissions is assessed to likely cause a 0.27°C to 0.63°C increase in global surface temperature with a best estimate of 0.45°C. (...) This quantity is referred to as the transient climate response to cumulative CO₂ emissions (TCRE). This relationship implies that reaching net zero anthropogenic CO₂ emissions is a requirement to stabilize human-induced global temperature increase at any level, but that limiting global temperature increase to a specific level would imply limiting cumulative CO₂ emissions to within a carbon budget.“

„D.1.2 (...) Remaining carbon budgets have been estimated for several global temperature limits and various levels of probability, based on the estimated value of TCRE and its uncertainty, estimates of historical warming, variations in projected warming from non-CO₂ emissions, climate system feedbacks such as emissions from thawing permafrost, and the global surface temperature change after global anthropogenic CO₂ emissions reach net zero.“

In Bezug auf die Wahrscheinlichkeiten merkt der IPCC an (IPCC, 2021, p. 29):

“This likelihood is based on the uncertainty in transient climate response to cumulative CO₂ emissions (TCRE) and additional Earth system feedbacks and provides the probability that global warming will not exceed the temperature levels provided in the [left column]. Uncertainties related to historical warming (±550 GtCO₂) and non-CO₂ forcing and response (±220 GtCO₂) are partially addressed by the assessed uncertainty in TCRE, but uncertainties in recent emissions since 2015 (±20 GtCO₂) and the climate response after net zero CO₂ emissions are reached (±420 GtCO₂) are separate.”

Die angegebenen Wahrscheinlichkeiten geben an, in wie viel Prozent der untersuchten Szenarien das Temperaturziel eingehalten wurde (vgl. MCC, 2022).

Zu den weiteren naturwissenschaftlichen Hintergründen wird auf den IPCC-Bericht verwiesen.

BVerfG, 2021).³ Dies ergibt sich aus der physikalisch gegebenen Budgeteigenschaft von CO₂. Es gibt kein Entrinnen aus der Notwendigkeit, Entscheidungen unter Unsicherheit treffen zu müssen.

Wenn die Vertragsstaaten bei ihren NDCs ein dahinterstehendes globales CO₂-Budget und einen dahinterstehenden Verteilungsschlüssel transparent machen bzw. dies von ihnen vermehrt eingefordert wird, kann dies einen Diskurs in Gang setzen, der zu konvergierenden globalen Orientierungsgrößen führt und damit zu in Summe Paris-kompatiblen NDCs beiträgt.

³ Auszug aus den wesentlichen Erwägungen des Bundesverfassungsgerichts (BVerfG, 2021):

“Die verfassungsrechtlich maßgebliche Temperaturschwelle von deutlich unter 2°C und möglichst 1,5°C kann prinzipiell in ein globales CO₂-Restbudget umgerechnet werden, das sich dann auf die Staaten verteilen lässt. Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) hat für verschiedene Temperaturschwellen und verschiedene Eintrittswahrscheinlichkeiten aufgrund eines qualitätssichernden Verfahrens unter Offenlegung der verbleibenden Unsicherheit konkrete globale CO₂-Restbudgets benannt. Auf dieser Grundlage hat der Sachverständigenrat für Umweltfragen auch für Deutschland ein ab 2020 verbleibendes konkretes nationales Restbudget ermittelt, das mit dem Paris-Ziel vereinbar wäre. Aufgrund der hierin enthaltenen Ungewissheiten und Wertungen kann die ermittelte Budgetgröße zwar derzeit kein zahlengenaues Maß für die verfassungsgerichtliche Kontrolle bieten. Dem Gesetzgeber bleibt Entscheidungsspielraum. Diesen darf er jedoch nicht nach politischem Belieben ausfüllen. Besteht wissenschaftliche Ungewissheit über umweltrelevante Ursachenzusammenhänge, erlegt Art. 20a GG dem Gesetzgeber eine besondere Sorgfaltspflicht auf. Danach müssen bereits belastbare Hinweise auf die Möglichkeit gravierender oder irreversibler Beeinträchtigungen berücksichtigt werden. Derzeit kann ein Verstoß gegen diese Sorgfaltspflicht nicht festgestellt werden. Zwar folgt daraus, dass Schätzungen des IPCC zur Größe des verbleibenden globalen CO₂-Restbudgets zu berücksichtigen sind, obwohl darin Ungewissheiten enthalten sind. Durch die in § 4 Abs. 1 Satz 3 KSG [Bundes-Klimaschutzgesetz] in Verbindung mit Anlage 2 geregelten Emissionsmengen würde das vom Sachverständigenrat für Umweltfragen auf der Grundlage der Schätzungen des IPCC ermittelte Restbudget bis zum Jahr 2030 weitgehend aufgebraucht. Das Maß an Verfehlung bildete jedoch verglichen mit den derzeit in der Berechnung des Restbudgets enthaltenen Unsicherheiten keine hinreichende Grundlage für eine verfassungsgerichtliche Beanstandung.”

In einer im Januar 2022 neu eingereichten Verfassungsbeschwerde wird u. a. hinterfragt, wie mit den „enthaltenen Unsicherheiten“ umzugehen ist (Geulen & Klinger (RA), 2022).

S. a. Anhang 3: Implizites deutsches CO₂-Budget und implizite Gewichtung Bevölkerung, S. 21.

Das Extended Smooth Pathway Model

Das ESPM besteht aus zwei Teilschritten: Im ersten Schritt werden nationale Budgets bestimmt. Im zweiten Schritt werden von diesen Budgets plausible nationale Emissionspfade abgeleitet.⁴

Bestimmung nationaler Budgets

Es sind viele Kriterien denkbar, um nationale Budgets von einem globalen Budget abzuleiten.⁵ Peters et al. betonen dabei die besondere Aussagekraft der Kombination der beiden Kriterien „Bevölkerung“ und „Emissionen“: *“these two alternatives act as bounds to a range of blended options, and demonstrate how national quotas can be allotted using any mix of the two alternatives”* (Peters, et al., 2015, p. 3). Dabei kann über die „Emissionen“ die derzeitige Realität und über die „Bevölkerung“ das Thema Klimagerechtigkeit adressiert werden. Daher verwenden wir folgenden gewichteten Verteilungsschlüssel, der je nach Gewichtung alle Kombinationen der beiden Kriterien abbildet:

$$B^i = \left(C * \frac{P_{BY}^i}{P_{BY}} + (1 - C) * \frac{E_{BY}^i}{E_{BY}} \right) * B$$

Dabei sind:

E_{BY} bzw. E_{BY}^i globale Emissionen bzw. Emissionen des Landes i im Basisjahr; hier: $BY = 2019$

P_{BY} bzw. P_{BY}^i globale Bevölkerung bzw. Bevölkerung des Landes i im Basisjahr

B bzw. B^i verbleibendes globales bzw. nationales CO₂-Budget des Landes i ; hier ab 2020

C Gewichtung der Bevölkerung

Andere Ansätze zur Ermittlung eines nationalen Budgets lassen sich ebenfalls ins ESPM integrieren.

Bestimmung nationaler Emissionspfade

Um Emissionspfade abzuleiten, die ein bestimmtes Budget einhalten, werden bisher vor allem folgende Methoden verwendet:

- (1) Linearer Reduktionspfad (Emissionspfad ist eine Gerade)

Dabei werden die Jahre bis zur Erreichung der Emissionsneutralität mit folgender Formel berechnet: $2 * B^i / E_{BY}^i$ (vgl. z. B. SRU, 2020).

⁴ Diese Vorgehensweise ist inspiriert von (Raupach, et al., 2014). In Modellen mit konvergierenden Pro-Kopf-Emissionen wird dagegen ein globaler Pfad auf Länder aufgeteilt [vgl. (Sargl, et al., 2017), (Sargl, et al., 2022b) und (Wittmann, 2022)].

⁵ Folgende Prinzipien lassen sich grundsätzlich unterscheiden: historische Verantwortung, ökonomische Leistungsfähigkeit, Gleichheit, derzeitige Realität (Grandfathering) und Kosteneffizienz. Die hier verwendete Gewichtungformel bildet die Prinzipien „Gleichheit“ und „Grandfathering“ ab (s. a. entsprechenden Exkurs in: Sargl, et al., 2022a).

(2) Konstanter jährlicher Reduktionssatz (Emissionspfad ist konvex)

Dabei wird iterativ berechnet, mit welchem konstanten jährlichen Reduktionssatz das vorgegebene Budget bzw. Klimaziel eingehalten werden kann (vgl. z. B. UNEP, 2019).

Aus einer klimapolitischen Gesamtschau heraus können andere Verläufe der Emissionspfade und insbesondere der jährlichen Veränderungssätze jedoch sinnvoller sein (s. a. Kapitel: „Szenariotypen aus einer klimapolitischen Gesamtschau“). Daher haben wir die RM-Szenariotypen entwickelt.

Die RM-Szenariotypen

Unsere Tools bieten sechs idealtypische Szenariotypen an.

Dabei unterscheiden sich die Szenariotypen RM 1 – 5 in der Annahme über den Verlauf der jährlichen Veränderungssätze.⁶ Jährliche Veränderungssätze werden in vielen Bereichen verwendet und sind besonders gut geeignet, um einen sinnvollen Verlauf über die Zeit hinweg zu beschreiben.

RM-6 geht von einem konstanten jährlichen Reduktionsbetrag aus (der Emissionspfad ist damit eine Gerade).

Die Emissionspfade ergeben sich damit indirekt über die Bestimmung der jährlichen Veränderungssätze bzw. des jährlichen Reduktionsbetrages. Die Szenariotypen ermöglichen eine letztendlich politische Entscheidung über den Verlauf des angestrebten Emissionspfades.

Zur grafischen Verdeutlichung der Unterschiede zwischen den Szenariotypen siehe Abb. 1 und Abb. 2 am Beispiel Deutschlands. Noch deutlicher werden die Unterschiede bei den Emissionspfaden in unserer Webanwendung: <http://paths.climate-calculator.info>. Für Deutschland wurde ein relativ hoher normalisierter Startveränderungssatz in 2020 unterstellt (siehe Fußnote 12). Dies hat zur Folge, dass die Unterschiede für Deutschland bei den Szenariotypen weniger ausgeprägt sind.

⁶ Da RM-2-exp in den Ergebnissen nahezu äquivalent zu RM-4-quadr ist, wird RM-2 in diesem Papier nicht miteinbezogen.

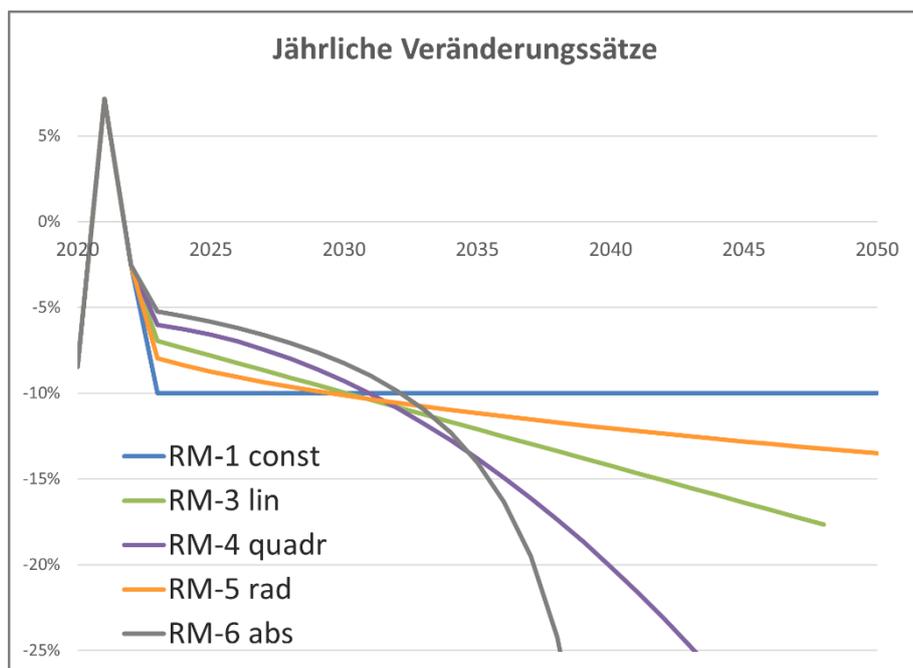


Abb. 1: Exemplarische jährliche Veränderungssätze für Deutschland⁷

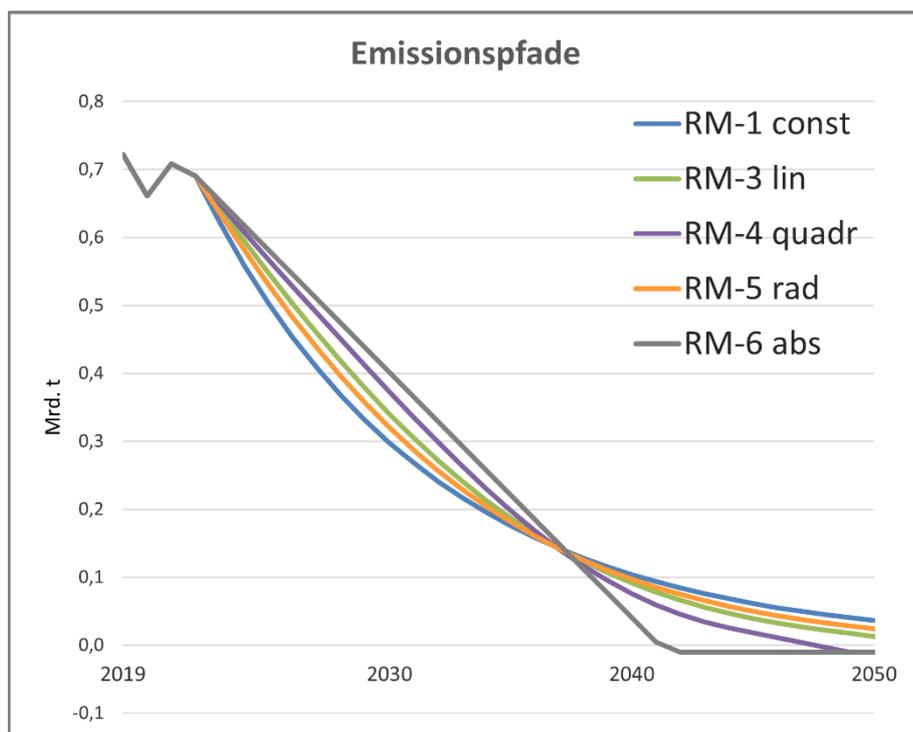


Abb. 2: Exemplarische Emissionspfade für Deutschland⁸

⁷ Ist-Werte: 2020 – 2022. Zu den weiteren unterlegten Rahmendaten siehe Kapitel „Exemplarische Emissionsziele für Deutschland und die EU“.

⁸ Ist-Wert 2019 laut (EEA, 2022). Ist-Werte 2020 – 2022 laut (UBA, 2023). Mrd. t = Gt.

Tab. 2 gibt einen Überblick über die Eigenschaften der RM-Szenariotypen.⁹ Für eine umfassende mathematische Beschreibung der RM-Szenariotypen verweisen wir auf: (Wolfsteiner & Wittmann, 2023a).

Szenariotyp	Verlauf der jährlichen Veränderungssätze (siehe Abb. 1)		Mathematische Modellierung der Veränderungssätze	Verlauf der jährlichen Veränderungsbeträge	Verlauf der Emissionspfade (siehe Abb. 2)
RM-1-const	konstant		$y = \textit{konstant}$	konkav	konvex
RM-3-lin	linear		$y = ax + b$	u-förmig	s-förmig ¹⁰ (erst konkav dann konvex)
RM-4-quadr	konkav		$y = ax^2 + b$	u-förmig	
RM-5-rad	konvex		$y = a\sqrt{x} + b$	u-förmig	
RM-6-abs	konkav		-	konstant	linear

Tab. 2: Übersicht RM-Szenariotypen

In Bezug auf den Anstieg¹¹ der jährlichen Reduktionssätze bei monotonem Verlauf, können folgende vier Grundtypen unterschieden werden:

- (1) Konstant: konstanter jährlicher Reduktionssatz (RM-1-const)
- (2) Linear: linearer Anstieg (RM-3-lin)
- (3) Konkav: anfangs unterproportionaler Anstieg (RM-4-quadr, RM-6-abs)
- (4) Konvex: anfangs überproportionaler Anstieg (RM-5-rad)

Der Szenariotyp RM-1-const liefert mit dem konstanten jährlichen Reduktionssatz einen wertvollen Hinweis auf die Größe der Herausforderung. Für die politische Bestimmung eines Emissionspfades ist er weniger geeignet, wenn der sich ergebende Reduktionssatz insbesondere am Anfang als unrealistisch eingeschätzt wird. Auch beim Szenariotyp RM-6-abs kann der anfängliche Reduktionssatz nicht auf der Basis einer realistischen Einschätzung vorgegeben werden, sondern ergibt sich wie bei RM-1 endogen. Bei RM 2 – 5 hingegen ist der Startveränderungssatz ein zu wählender Parameter, der damit auf einer realistischen Basis festgelegt werden kann.¹²

⁹ Die Abkürzung „RM“ steht für Regensburger Modell, in dem die RM-Szenariotypen zur Bestimmung von globalen Pfaden verwendet werden. Beim Regensburger Modell handelt es sich um einen Konvergenzansatz, bei dem sich die Pro-Kopf-Emissionen schrittweise bis zur vollständigen Konvergenz angleichen (vgl. Sargl, et al., 2017). Das ESPM und das RM können unter Resource Sharing Models subsumiert werden (vgl. Sargl, et al., 2022b).

¹⁰ Abhängig von den Rahmendaten (v. a. Startveränderungssatz und Budget), kann der konkave Teil mehr oder weniger ausgeprägt sein. Bei den Rahmendaten zu Abb. 2 für Deutschland ergibt sich kein konkaver Teil aufgrund des verwendeten relativ hohen Startveränderungssatzes (siehe Fußnote 12). Unsere Webanwendung <http://paths.climate-calculator.info> zeigt auf der Grundlage globaler Daten idealtypische Verläufe der Emissionspfade.

¹¹ Folgend wird statt von „Veränderungssätzen“ von „Reduktionssätzen“ gesprochen unter Nichtberücksichtigung, dass bei den Szenariotypen RM 3 – 5 auch ein positiver Startveränderungssatz 2020 zugrunde gelegt werden kann. „Anstieg“ bezieht sich hier auf den Absolutbetrag der Reduktionssätze.

¹² Bei den folgenden exemplarischen Emissionszielen wurde ein normalisierter Startveränderungssatz für 2020 für Deutschland von -5,7% und für die EU -4,2% unterstellt. Diese entsprechen den Ist-Reduktionssätzen des Jahres 2019 (vgl. EEA, 2022). Aufgrund des temporären Corona-Effekts in 2020 ist es nicht sinnvoll, die tatsächlichen Veränderungssätze in 2020 als Basis zur Berechnung der Änderungsraten in den Szenariotypen RM 3 - 5 zu verwenden.

Da die Reduktionssätze bei den Szenariotypen RM-4-quadr und RM-6-abs anfangs nur langsam steigen, ist später ein starker Anstieg der jährlichen Reduktionssätze notwendig (siehe Abb. 1). Der Szenariotyp RM-5-rad ist gekennzeichnet durch anfangs relativ schnell steigende jährliche Reduktionssätze, womit die Reduktionssätze später weniger drastisch steigen müssen. Der Szenariotyp RM-3-lin stellt durch seinen linearen Anstieg der Reduktionssätze eine Art Kompromiss zwischen den konvexen und konkaven Szenariotypen dar.

Die hier vorgestellten idealtypischen Szenariotypen decken die Bandbreite plausibler Möglichkeiten gut ab. Das ESPM ist jedoch offen für weitere Szenariotypen.¹³

In der Realität werden die Reduktionssätze jedoch nicht die idealtypischen Verläufe aufweisen, da Krisen, konjunkturelle Auf- oder Abschwünge, technische und politische Entwicklungen etc. den Verlauf mitbestimmen werden. Die Szenariotypen sollen aber auch nicht der Prognose dienen, sondern helfen, anstehende politische Entscheidungen vorzubereiten und zu fundieren.

Mengen-Overshoot

Mit den RM-Szenariotypen können auch netto negative Emissionen abgebildet werden.

Dafür werden die Emissionen in 2100 vorgegeben. Ist dieser Wert negativ, so kann das vorgegebene Budget zeitweise überschritten werden. Dieser Mengen-Overshoot wird dann bis 2100 durch netto negative Emissionen ausgeglichen.¹⁴

Zu beachten ist, dass weitere netto negative CO₂-Emissionen notwendig sind, um Klimaneutralität zu erreichen. So müssen z. B. nicht vermeidbare Lach- und Methangasemissionen aus der Landwirtschaft zusätzlich kompensiert werden. Außerdem können auch vor Erreichung von CO₂-Neutralität negative CO₂-Emissionen sinnvoll sein.

¹³ Es ist auch möglich, für den Emissionspfad direkt eine bestimmte Funktion zu verwenden (vgl. Wittmann, 2022). Mathematisch ist dieses Vorgehen jedoch nicht einfacher.

¹⁴ Zu den Einschränkungen eines Mengen-Overshoots siehe: (Wolfsteiner & Wittmann, 2023e).

Szenariotypen aus einer klimapolitischen Gesamtschau

Wir halten es für notwendig, einen wissenschaftlich basierten Diskurs darüber zu forcieren, welcher Verlauf der jährlichen Reduktionssätze klimapolitisch sinnvoll ist.¹⁵ Dabei stellen sich folgende zentrale Fragen:

- (1) Welche Reduktionssätze sind wann realistisch?
- (2) Implizieren anfänglich langsam steigende Reduktionssätze (\approx RM-4 und RM-6) eine nicht vertretbare Hypothek für die Zukunft, da diese später sehr hohe Reduktionssätze erfordern?
- (3) Oder sind spätere hohe Reduktionssätze wie in RM-4 oder RM-6 sogar sinnvoll, weil dadurch ein größerer zeitlicher Vorlauf für die notwendigen Investitionen besteht?¹⁶
- (4) Vermitteln anfangs schnell steigende Reduktionssätze (\approx RM-3 und RM-5) eine glaubwürdigere Klimaschutzpolitik, die Planungssicherheit für öffentliche und private Investitionen in eine fossilfreie Zukunft schafft?

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) empfiehlt z. B. „*von einem linearen Reduktionspfad abzusehen. Eine frühzeitige überproportionale Reduktion bis 2030 erlaubt langfristig noch Spielraum, erfordert aber, dass erhebliche Maßnahmen jetzt angestoßen werden. Ein langsamer Einstieg, der auf steile Emissionsreduktionen in späteren Jahren hofft, gefährdet die Einhaltung des Budgets und der Klimaziele*“ (SRU, 2020, p. 56).

Emissionspfade mit später stark ansteigenden jährlichen Reduktionsraten setzen voraus, dass die eingesetzten Klimaschutzinstrumente und die dahinterstehende Klimapolitik eine sehr hohe Glaubwürdigkeit aufweisen, sodass die Wirtschaftsakteure tatsächlich die notwendigen hohen Reduzierungen in der Zukunft antizipieren. Diese Glaubwürdigkeit zu erreichen, stellt eine große Herausforderung dar.

¹⁵ Auch das deutsche Bundesverfassungsgericht hat in seinem Urteil 2021 klargestellt, dass die Politik sich der Frage stellen muss, welche Reduktionen wir heute schon erbringen müssen und welches Ausmaß an Reduktionen wir in die Zukunft verschieben können, ohne die Freiheit zukünftiger Generationen über Gebühr zu beschränken.

Auszug aus den wesentlichen Entscheidungsgründen des Bundesverfassungsgerichtes (BVerfG, 2021):

“*Als intertemporale Freiheitssicherung schützen die Grundrechte die Beschwerdeführenden (...) vor einer umfassenden Freiheitsgefährdung durch einseitige Verlagerung der durch Art. 20a GG aufgegebenen Treibhausgasminderungslast in die Zukunft. (...) Ein umfangreicher Verbrauch des CO₂-Budgets schon bis 2030 verschärft (...) das Risiko schwerwiegender Freiheitseinbußen, weil damit die Zeitspanne für technische und soziale Entwicklungen knapper wird, mit deren Hilfe die Umstellung von der heute noch umfassend mit CO₂-Emissionen verbundenen Lebensweise auf klimaneutrale Verhaltensweisen freiheitsschonend vollzogen werden könnte. (...) Danach darf nicht einer Generation zugestanden werden, unter vergleichsweise milder Reduktionslast große Teile des CO₂-Budgets zu verbrauchen, wenn damit zugleich den nachfolgenden Generationen eine radikale Reduktionslast überlassen und deren Leben umfassenden Freiheitseinbußen ausgesetzt würde*“.

¹⁶ Die notwendigen Investitionen könnten mehr im Rahmen normaler Investitionszyklen vonstattengehen. Die Notwendigkeit der Entwertung bestehender Investitionen könnte durch die Verschiebung der hohen Reduzierungen nach hinten minimiert werden.

Exemplarische Emissionsziele für Deutschland und die EU

Für die folgenden exemplarischen Emissionsziele für Deutschland und die EU wird ein verbleibendes globales CO₂-Budget ab 2020 von 550 Mrd. t zugrunde gelegt. Dieses korrespondiert mit der Begrenzung der Erderwärmung auf 1,6°C bzw. 1,7°C mit einer Einhaltungswahrscheinlichkeit von 67% bzw. 83 % (siehe Tab. 1).

Dabei ergeben sich folgende exemplarische verbleibenden CO₂-Budgets ab 2020:

Gewichtung Bevölkerung		100%	75%	50%	25%	0%
Verbleibende CO ₂ -Budgets ab 2020 in Mrd. t	Deutschland	5,9	6,8	7,7	8,6	9,5
	EU	31,9	33,6	35,3	37,0	38,7

Tab. 3: Exemplarische CO₂-Budgets Deutschland / EU bei einem globalen Budget von 550 Mrd. t¹⁷

Tab. 4 und Tab. 5 zeigen exemplarische Emissionsziele bei einer Gewichtung der Bevölkerung mit 50%. Als Emissionswerte für 2100 wurden -1% der jeweiligen Emissionen in 2019 angesetzt.¹⁸

Szenariotyp:	RM-1-const	RM-5-rad	RM-3-lin	RM-4-quadr	RM-6-abs
Zieljahr	Reduktionssätze gegenüber den Emissionen im Referenzjahr 1990				
2019	-34% (Ist-Wert)				
2025	-54%	-51%	-50%	-48%	-47%
2030	-73%	-71%	-69%	-66%	-63%
2035	-84%	-83%	-83%	-82%	-80%
2040	-90%	-91%	-92%	-93%	-96%
2045	-94%	-95%	-96%	-98%	-101%
2050	-97%	-98%	-99%	-101%	-101%
Jahr CO₂-Neutralität:	2060	2056	2052	2047	2041
Overshoot in Mrd. t	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6

Tab. 4: Exemplarische Emissionsziele für Deutschland – globales Budget 550 Mrd. t / Bevölkerung 50%

¹⁷ Berechnungsgrundlagen der Budgets für Deutschland und der EU:

Laut der Europäischen Umweltagentur (EEA) beliefen sich die gesamten CO₂-Emissionen (einschließlich „international transport“ und LULUCF) für Deutschland in 2019 auf 0,72 Mrd. t und für die EU auf 2,93 Mrd. t (EEA, 2022). Gemäß Global Carbon Project (GCP) beliefen sich die globalen CO₂-Emissionen in 2019 auf 41,6 Mrd. t (GCP, 2022). Damit hatte Deutschland in 2019 einen Anteil an den globalen Emissionen von 1,7% und die EU von 7,0%. Dabei wird vereinfachend unterstellt, dass die LUC-Emissionen laut GCP den LULUCF-Emissionen der EEA entsprechen. Deutschland hatte 2019 einen Anteil von 1,1% an der globalen Bevölkerung und die EU von 5,8% (EDGAR, 2022). Die analogen Emissionen betragen 1990 für Deutschland 1,1 Mrd. t und für die EU 3,8 Mrd. t. Diese Werte können auch mit unserem Tool (Wolfsteiner & Wittmann, 2023d) nachvollzogen werden.

Anteil Deutschlands an den globalen Emissionen

Deutschland hatte zwar in 2019 nur einen Anteil von 1,7% an den globalen CO₂-Emissionen. Fasst man alle Länder zusammen (ohne die EU), die einen Anteil von unter 2% haben, dann haben diese jedoch zusammen einen Anteil von rund 40% an den globalen Emissionen. Dies bedeutet, dass sich auch Länder mit einem geringen Anteil nicht aus der Verantwortung stehlen können.

Auf der anderen Seite haben die fünf größten Emittenten plus EU rund 70% der globalen Emissionen zu verantworten (ohne die EU: rund 60%). Daher kommt diesen großen Emittenten eine besondere Verantwortung zu (vgl. Sargl, et al., 2022a).

¹⁸ Zu der Bestimmung des Potentials für Netto-Negativ-Emissionen s. a.: (Wolfsteiner & Wittmann, 2023e).

Soweit vorhanden, wurden Ist-Emissionen berücksichtigt. Für die EU hat die EEA die Ist-Emissionen bis einschließlich 2020 veröffentlicht (EEA, 2022). Für Deutschland hat das Umweltbundesamt (UBA) die Ist-Emissionen bis einschließlich 2022 veröffentlicht (UBA, 2023). Die aktuellen Zahlen des UBA wurden für den Zeitraum 2020 – 2022 verwendet.

Szenariotyp:	RM-1-const	RM-5-rad	RM-3-lin	RM-4-quadr	RM-6-abs
Zieljahr	Reduktionssätze gegenüber den Emissionen im Referenzjahr 1990				
2019	-23% (Ist-Wert)				
2025	-50%	-45%	-43%	-41%	-41%
2030	-66%	-63%	-60%	-56%	-55%
2035	-77%	-76%	-74%	-72%	-70%
2040	-85%	-85%	-85%	-85%	-84%
2045	-90%	-91%	-92%	-94%	-99%
2050	-93%	-95%	-96%	-99%	-101%
Jahr CO₂-Neutralität:	2071	2064	2058	2051	2045
Overshoot in Mrd. t	0,8	1,1	1,2	1,5	1,7

Tab. 5: Exemplarische Emissionsziele für die EU – globales Budget 550 Mrd. t / Bevölkerung 50%

Bei den hier unterlegten Rahmendaten müsste die EU z. B. im Szenariotyp RM-6 ihre CO₂-Emissionen bis 2030 um 55% gegenüber 1990 senken und 2045 CO₂-Neutralität erreichen. Dabei ergäbe sich ein im Zeitraum 2046 – 2100 durch Netto-Negativ-Emissionen auszugleichender Mengen-Overshoot von 1,7 Mrd. t CO₂. Zu beachten ist, dass zur Erreichung von Klimaneutralität zusätzliche netto negative CO₂-Emissionen erforderlich sind, um andere Treibhausgase wie zum Beispiel Methan und Lachgas aus der Landwirtschaft auszugleichen. Daher muss CO₂-Neutralität vor der Klimaneutralität erreicht werden.

Die EU hat am 17.12.2020 ein neues NDC eingereicht, welches die Verschärfung des EU-Ziels für 2030 auf -55% gegenüber 1990 und das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 enthält (vgl. UNFCCC, 2020). Deutschland hat nach dem Urteil des Bundesverfassungsgerichts in 2021 seine Ziele auf -65% bis 2030 gegenüber 1990 und Klimaneutralität bis 2045 angehoben. Deutschland reicht keine eigenes NDC ein, sondern ist Teil des NDC der EU.

Die Ziele der EU und Deutschlands beziehen sich auf alle Treibhausgase, sodass diese nicht direkt mit den oben gezeigten exemplarischen Emissionszielen verglichen werden können, wenn Treibhausgasfraktionen unterschiedlich schnell gesenkt werden sollen. Außerdem wurden bisher keine konkreten Aussagen zu einem Mengen-Overshoot gemacht hat.

Schlussfolgerungen

Es konnten und sollten hier nur exemplarische Ergebnisse für Deutschland und die EU gezeigt werden, da wichtige Rahmendaten letztendlich politisch noch eingehend diskutiert und entschieden werden müssen.

Daher schlagen wir folgende politische Agenda für alle Vertragsstaaten des Pariser Abkommens vor:

- Rahmendaten auf Basis des derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstands konkretisieren; insbesondere was das globale CO₂-Budget und den Umfang der Berücksichtigung von netto negativen CO₂-Emissionen betrifft.
- Auf dieser Basis nationale CO₂-Budgets ableiten, die einer fairen und ökonomisch sinnvollen Aufteilung eines globalen CO₂-Budgets gerecht werden.¹⁹
- Sich bei den Emissionszielen bzw. beim nationalen Emissionspfad an einem klimapolitisch sinnvollen Verlauf der jährlichen Veränderungssätze orientieren.²⁰
- Die Rahmendaten und Reduktionsziele regelmäßig auf der Basis neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse und technischer/realer Entwicklungen nachsteuern.

Aufgrund der Budgeteigenschaft von CO₂ sollte sich die EU neben den Zielen zu allen Treibhausgasen parallel an einem verbleibenden CO₂-Budget orientieren, das von einem global verbleibenden CO₂-Budget abgeleitet wird und ihre Ziele auf dieser Grundlage überprüfen.

Eine solch transparente Herleitung eines NDC könnte dazu führen, dass andere diesem Beispiel folgen und damit ein Diskurs über konkrete globale Rahmendaten in Gang kommt, der zu in Summe Paris-kompatiblen NDCs beiträgt.

Dass in Glasgow (COP26) eine jährliche Nachbesserung der NDCs verabschiedet wurde, ist ein Fortschritt, um die Einhaltung der Pariser-Klimaziele in Reichweite zu halten.²¹ Dafür sind aufgrund der Budgeteigenschaft von CO₂ insbesondere die Ziele für 2030 wichtig.

Entscheidend ist jetzt, dass die großen Emittenten ein Verhandlungsformat finden, um verbindliche Paris-kompatible Ziele zu vereinbaren (vgl. Sargl, et al., 2022a). Die UN-Klimakonferenzen sind auch aufgrund ihrer Einstimmigkeitsregel dafür nicht der passende Verhandlungsort (vgl. Edenhofer, 2022).

¹⁹ Siehe Fußnote 5.

²⁰ Siehe Kapitel „Szenariotypen aus einer klimapolitischen Gesamtschau“, S. 11.

²¹ Siehe Fußnote 1.

Literaturverzeichnis

BVerfG, 2021. *Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021- 1 BvR 2656/18 -, Rn. 1-270.*

[Online]

Available at: http://www.bverfg.de/e/rs20210324_1bvr265618.html

CMA.3/-Decision, 2021. *Glasgow Climate Pact.* [Online]

Available at: <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/glasgow-climate-change-conference-october-november-2021/outcomes-of-the-glasgow-climate-change-conference>

[Accessed 17 11 2021].

Edenhofer, O., 2022. *COP27: Climate expert Edenhofer dampens expectations; we need new negotiating formats (Interview).* [Online]

Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7419448>

EDGAR, 2022. *European Commission, Joint Research Centre (JRC)/PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR).* [Online]

Available at: <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>

[Accessed 23 09 2022].

EEA, 2022. *EEA greenhouse gas - data viewer.* [Online]

Available at: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>

[Accessed 01 06 2022].

GCP, 2022. [Online]

Available at: <https://globalcarbonbudget.org>

[Accessed 11 11 2022].

Geulen & Klinger (RA), 2022. *Verfassungsbeschwerde gegen das Klimaschutzgesetz 2021.*

[Online]

Available at: <https://www.duh.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung/deutsche-umwelthilfe-reicht-mit-kindern-und-jungen-erwachsenen-beschwerde-vor-dem-bundesverfassungsg/>

IPCC, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* [Online]

Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Knopf, B. & Geden, O., 2022. *Ist Deutschland auf dem 1,5-Grad-Pfad? Eine Einordnung der Diskussion über ein nationales CO₂-Budget*. [Online]

Available at: <https://www.mcc-berlin.net/news/meldungen/meldungen-detail/article/studie-ordnet-deutsche-klimapolitik-in-den-kontext-des-15-grad-ziels-ein.html>

MCC, 2022. *Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change*. [Online]

Available at: <https://www.mcc-berlin.net/forschung/co2-budget.html>

[Accessed 03 03 2022].

Peters, G. P., Andrew, R. M., Solomon, S. & Friedlingstein, P., 2015. Measuring a fair and ambitious climate agreement using cumulative emissions. *Environmental Research Letters*, 15 October, Band 10.

Raupach, M. R. et al., 2014. Sharing a quota on cumulative carbon emissions. *Nature Climate Change*, Volume 4, pp. 873 - 879.

Sargl, M., Wiegand, D., Wittmann, G. & Wolfsteiner, A., 2021. Berechnung Paris-kompatibler Emissionsziele für die sechs größten Emittenten mit dem ESPM. *Zeitschrift für Umweltpolitik & Umweltrecht*, Issue 3/2021, pp. 269 - 286.

Sargl, M., Wiegand, D., Wittmann, G. & Wolfsteiner, A., 2022a. *Calculation of Paris-compatible emission targets for the six largest emitters with the ESPM*. [Online]

Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4764408>

Sargl, M., Wiegand, D., Wittmann, G. & Wolfsteiner, A., 2022b. *Distribution of a Global CO₂ Budget - A Comparison of Resource Sharing Models*. [Online]

Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4603032>

Sargl, M., Wolfsteiner, A. & Wittmann, G., 2017. The Regensburg Model: reference values for the (I)NDCs based on converging per capita emissions. *Climate Policy*, 17(5), p. 664 – 677.

SRU, 2020. *Umweltgutachten 2020*. [Online]

Available at: <https://www.umweltrat.de>

SRU, 2022. *Wie viel CO₂ darf Deutschland maximal noch ausstoßen? Fragen und Antworten zum CO₂-Budget*. [Online]

Available at:

https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2022_06_fragen_und_antworten_zum_co2_budget.html

UBA, 2023. *Emissionsübersichten KSG-Sektoren 1990-2022*. [Online]

Available at:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2023_03_15_em_entwicklung_in_d_ksg-sektoren_pm.xlsx

[Zugriff am 15.03.2023].

UNEP, 2019. *Emissions Gap Report 2019*. [Online]

Available at: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2019>

UNFCCC, 2020. *NDC of the EU*. [Online]

Available at: <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/pages/Party.aspx?party=EUU>

UNFCCC, 2022. *NDC Synthesis Report*. [Online]

Available at: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs/ndc-synthesis-report>

Wiegand, D. et al., 2021. Berechnung Paris-kompatibler Emissionspfade mit dem ESP-Modell am Beispiel der EU. *Wirtschaftsdienst*, 2021, pp. 127 - 133.

Wittmann, G., 2022. *Resource Sharing Models – A Mathematical Description*. [Online]

Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4405448>

Wolfsteiner, A., 2023. *Ableitung eines impliziten CO₂-Budgets für Deutschland aus dem Klimaschutzgesetz*. [Online]

Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6535174>

Wolfsteiner, A. & Wittmann, G., 2023a. *Mathematical Description of the Regensburg Model Scenario Types RM 1 – 6*. [Online]

Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4540475>

Wolfsteiner, A. & Wittmann, G., 2023b. *Tool for the Calculation of Emission Paths with the RM Scenario Types*. [Online]

Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4568839>

Wolfsteiner, A. & Wittmann, G., 2023c. *Tool for the Calculation of Paris-compatible Emission Paths with the ESPM*. [Online]

Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4580310>

Wolfsteiner, A. & Wittmann, G., 2023d. *Tool: Implicit and explicit weighting of the population in the allocation of a global CO₂ budget*. [Online]

Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5837866>

Wolfsteiner, A. & Wittmann, G., 2023e. *Treatment of the topics LUC and net negative emissions in the RM and ESPM tools.* [Online]

Available at: <http://luc.climate-calculator.info>

Anhang

Anhang 1: Tools zum ESPM

- **Webanwendungen** zur Berechnung Paris-kompatible Ziele:
 - CO₂-Budgets und Emissionspfade für die EU: <http://eu.climate-calculator.info>.
 - CO₂-Budgets für alle Länder der Welt: <http://national-budgets.climate-calculator.info>.
 - Emissionspfade, die ein vorzugebendes Budget einhalten: <http://paths.climate-calculator.info>.
 - Übersicht zu den Webanwendungen: <https://climate-calculator.info>.
- Auf unserer Webseite <http://www.save-the-climate.info> stellen wir **Excel-Tools** zur Verfügung, mit denen für jedes Land der Welt Referenzwerte u. a. mit dem ESPM berechnet werden können:
 - Zur Berechnung der exemplarischen Emissionsziele für Deutschland und die EU in diesem Papier wurde das universell anwendbare Excel-Tool ‚Paths_RM_ST‘ verwendet (Wolfsteiner & Wittmann, 2023b), das auch auf [Zenodo](#) veröffentlicht wurde.
 - Das Excel-Tool ‚ESPM‘ enthält eine Datenbank mit den Emissionsdaten aller Länder der Welt aufgrund der Nutzung fossiler Brennstoffe (ohne internationale Schiff- und Luftfahrt; ISA) und der Zementherstellung (Wolfsteiner & Wittmann, 2023c). Mit diesem Tool können daher Paris-kompatible Emissionspfade für diese Emissionen für alle Länder der Welt ermittelt werden. Das Tool haben wir ebenfalls auf [Zenodo](#) veröffentlicht.
- Excel-Tool: ‚Implizite und explizite Gewichtung der Bevölkerung bei der Verteilung eines globalen CO₂-Budgets‘; veröffentlicht auf [Zenodo](#) (Wolfsteiner & Wittmann, 2023d).
Basierend auf der Verteilung eines globalen CO₂-Budgets auf Länder mittels eines gewichteten Verteilungsschlüssels (s. o.), der die Emissions- und Bevölkerungsanteile in einem Basisjahr einbezieht, kann dieses Excel-Tool verwendet werden, um Folgendes für alle Länder der Welt zu berechnen:
 - Implizite Gewichtung der Bevölkerung ausgehend von einem nationalen Budget, das z. B. aus einem NDC abgeleitet wurde.
 - Nationale CO₂-Budgets auf der Grundlage einer vorzugebenden expliziten Gewichtung des Bevölkerungsschlüssels (s. a. oben vereinfachte analoge [Webanwendung](#)). Damit kann dieses Tool auch die Datenbasis liefern für die universelle [Webanwendung](#) zur Bestimmung von Emissionspfaden (s. o.) und für das Excel-Tool ‚Paths_RM_ST‘ (s. o.).
- Excel-Tool: Ableitung eines impliziten CO₂-Budgets für Deutschland aus dem Klimaschutzgesetz (KSG); veröffentlicht auf [Zenodo](#) (Wolfsteiner, 2023).

Anhang 2: Zeitpunkt Aufteilung eines globalen CO₂-Budgets²²

Hier wird ein verbleibendes globales Budget ab 2020 aufgeteilt und damit die Gewichtung der Bevölkerung ab 2020 angewendet. Wir haben 2020 als Startpunkt u. a. gewählt, da die Vertragsstaaten bis 2020 nachgebesserte NDCs vorlegen sollten und seit vielen Jahren 2020 als Wendepunkt für die globalen Emissionen angesehen wurde für eine erfolgreiche Begrenzung der Erderwärmung.

Der SRU spricht sich beispielsweise für eine Gewichtung der Bevölkerung mit 100% und für eine Verteilung eines globalen Budgets ab 2016 aus, da 2015 das Pariser Klimaabkommen verabschiedet wurde (vgl. SRU, 2020). In der Logik des SRU ergäben sich für Deutschland folgende CO₂-Budgets aufgrund der aktuellen Zahlen (vgl. Wolfsteiner & Wittmann, 2023d):

Globales CO ₂ -Budget ab 2020		in Mrd. t CO ₂			
		775	550	500	400
Deutsche CO ₂ -Budgets ab	Quelle				
2020	(Wolfsteiner & Wittmann, 2023d)	7,3	4,8	4,2	3,1
2022		5,9	3,4	2,9	1,8
	(SRU, 2022)	6,1		3,1	2,0

Tab. 6: Deutsche CO₂-Budgets in der Logik des SRU

Der SRU hat im Juni 2022 aktualisierte Zahlen für Budgets ab 2022 veröffentlicht (vgl. SRU, 2022, p. 8), die in Tab. 6 wiedergegeben werden. Gründe für die Abweichungen zu unseren Berechnungen könnten unterschiedliche Datenstände bzw. unterschiedliche Quellen für die Bevölkerungszahlen sein. Ein inhaltlicher Unterschied ist, dass der SRU die Emissionen der internationalen Schiff- und Luftfahrt (ISA) nicht berücksichtigt. In unseren Zahlen sind diese nach dem „Absatzprinzip“ enthalten.

²² S. a. Fußnote 5 zur Frage der Aufteilung eines globalen CO₂-Budgets.

Anhang 3: Implizites deutsches CO₂-Budget und implizite Gewichtung Bevölkerung

*Implizites deutsches CO₂-Budget:*²³

Aus dem Klimaschutzgesetz (KSG) und dem Ampel-Koalitionsvertrag lässt sich unter gewissen Annahmen ein implizites CO₂-Budget für den Zeitraum 2020 – 2050 von 7,9 Mrd. t für Deutschland ableiten (vgl. Wolfsteiner, 2023).

Implizite Gewichtung der Bevölkerung durch ein implizites deutsches CO₂-Budget:

Werden diese 7,9 Mrd. t CO₂ herangezogen, ergeben sich folgende implizite Gewichtungen der Bevölkerung, wenn obige Gewichtungsformel für die Verteilung eines globalen Budgets zugrunde gelegt wird:

Globales CO ₂ -Budget ab 2020 in Mrd. t	400	500	550	650
Implizite Gewichtung Bevölkerung CO ₂ -Budget 7,9 Mrd. t	-37%	24%	45%	79%

Tab. 7: Implizite Gewichtung Bevölkerung aufgrund eines impliziten CO₂-Budgets für Deutschland²⁴

Dabei wurde folgende Formel verwendet:

$$C = \frac{B^i - B * \frac{E_{BY}^i}{E_{BY}}}{B * \frac{P_{BY}^i}{P_{BY}} - B * \frac{E_{BY}^i}{E_{BY}}}$$

Die implizite Gewichtung der Bevölkerung ist eine wertvolle Kennzahl zur Beurteilung der Frage, ob nationaler Ziele bzw. NDCs einen angemessenen Anteil an den notwendigen globalen Anstrengungen darstellen. Grundlage ist die Ableitung eines nationalen CO₂-Budgets aus den nationalen Zielen, wenn ein Budget nicht explizit angegeben wird.

²³ Vgl. auch (Knopf & Geden, 2022).

²⁴ Siehe [hier](#) unser Tool zur Berechnung der impliziten Gewichtung der Bevölkerung (Wolfsteiner & Wittmann, 2023d).