

# Berechnung Paris-kompatibler Emissionspfade mit dem Extended Smooth Pathway Model am Beispiel Deutschlands und der EU

---

DOI 10.5281/zenodo.11115507

veröffentlicht auf [Zenodo](#)

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

Stand: 05.05.2024

Datenstand:  
EEA: April 2024  
UBA: März 2024  
GCP: Dezember 2023  
SRU: März 2024

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., 2024a).

## Inhalt

Abbildungsverzeichnis .....	3
Tabellenverzeichnis .....	3
Einleitung .....	4
Globale CO <sub>2</sub> -Budgets .....	5
Das Extended Smooth Pathway Model (ESPM) .....	7
Bestimmung nationaler Budgets .....	7
Bestimmung nationaler Emissionspfade .....	8
Die RM-Szenariotypen .....	8
Mengen-Overshoot.....	11
Szenariotypen aus einer klimapolitischen Gesamtschau.....	11
Exemplarische Emissionsziele für Deutschland und die EU.....	13
Einordnung der Ziele der EU .....	16
Roadmap zu Paris-kompatiblen NDCs.....	18
Literaturverzeichnis .....	20
Anhang .....	24
Anhang 1: Tools zum ESPM.....	24
Anhang 2: Abgleich mit den Zahlen des SRU .....	25
Anhang 3: Implizites deutsches CO <sub>2</sub> -Budget und implizite Gewichtung der Bevölkerung.....	26

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Exemplarische jährliche Veränderungssätze der RM-Szenariotypen.....	9
Abb. 2: Exemplarische Emissionspfade der RM-Szenariotypen.....	9
Abb. 3: Exemplarische Verläufe Deutschland .....	14
Abb. 4: Exemplarische Verläufe EU .....	15
Abb. 5: Jährliche Veränderungssätze laut Klimaschutzgesetz .....	26

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Verbleibende globale CO <sub>2</sub> -Budgets ab 2020.....	5
Tab. 2: Übersicht RM-Szenariotypen.....	10
Tab. 3: Exemplarische CO <sub>2</sub> -Budgets Deutschland / EU bei einem globalen Budget von 550 Mrd. t.....	13
Tab. 4: Exemplarische Emissionsziele Deutschland – globales Budget 550 Mrd. t / Bevölkerung 50% ....	14
Tab. 5: Exemplarische Emissionsziele EU – globales Budget 550 Mrd. t / Bevölkerung 50% .....	14
Tab. 6: Daten der sechs größten Emittenten.....	19
Tab. 7: Deutsche CO <sub>2</sub> -Budgets in der Logik des SRU 2022.....	25
Tab. 8: Deutsche CO <sub>2</sub> -Budgets in der Logik des SRU 2024.....	25
Tab. 9: Implizite Gewichtung Bevölkerung aufgrund eines impliziten CO <sub>2</sub> -Budgets für Deutschland.....	26

## Einleitung

CO<sub>2</sub> reichert in sich der Atmosphäre an. Daher ist die Summe an CO<sub>2</sub>-Emissionen entscheidend für die Einhaltung bestimmter Grenzen der Erderwärmung (Budgeteigenschaft von CO<sub>2</sub>). Daher sollten sich NDCs<sup>1</sup> an einem verbleibenden globalen CO<sub>2</sub>-Budget orientieren.

Bei der Umsetzung stellen sich jedoch folgende Fragen, die zwar wissenschaftlich basiert, aber letztendlich politisch beantwortet werden müssen:

1. An welchem global verbleibenden CO<sub>2</sub>-Budget sollen sich Staaten bei ihren NDCs orientieren?
2. An welcher Aufteilung eines globalen CO<sub>2</sub>-Budgets sollen sich Staaten bei ihren NDCs orientieren?
3. Wie kann ein daraus resultierendes national verbleibendes CO<sub>2</sub>-Budget in einen sinnvollen Emissionspfad übersetzt werden?

Das Extended Smooth Pathway Model ([ESPM](#)) bietet einen Rahmen, in dem diese Fragen mit nachvollziehbaren Ergebnissen beantwortet werden können.

---

<sup>1</sup> Das Konzept der Nationally Determined Contributions (NDCs) wurde im Artikel 4 des Pariser Abkommen eingeführt (Bottom-up-Ansatz). Im Rahmen des [Pariser-Ambitionsmechanismuses](#) sollen die Staaten immer ehrgeizigere NDCs vorlegen, bis diese in Summe Paris-kompatibel sind. Nach der „Globalen Bestandsaufnahme“ (Global Stocktake; GST) in 2023 sollen die Vertragsstaaten bis spätestens Ende 2025 verbesserte NDCs vorlegen.

Vor der UN-Klimakonferenz in den Vereinigten Arabischen Emiraten (COP28) hat das UNFCCC-Sekretariat seinen Synthesebericht zum Global Stocktake veröffentlicht und Folgendes im Report zum „Technischen Dialog“ festgehalten (UNFCCC, 2023, p. 5):

“9. (...) (G)lobal emissions are not in line with modelled global mitigation pathways consistent with the temperature goal of the Paris Agreement, and there is a rapidly narrowing window to raise ambition and implement existing commitments in order to limit warming to 1.5 °C above pre-industrial levels.

10. (...) Emissions gaps are the difference between the emission levels implied by the NDCs and the average emission levels of global modelled mitigation pathways consistent with limiting warming to 1.5 °C or 2 °C. Implementation gaps refer to how far currently enacted policies and actions fall short of reaching stated targets. Based on current NDCs, the gap to emissions consistent with limiting warming to 1.5 °C in 2030 is estimated to be 20.3–23.9 Gt CO<sub>2</sub> eq.”

## Globale CO<sub>2</sub>-Budgets

Zu den verbleibenden globalen CO<sub>2</sub>-Budgets hat der IPCC in seinem Sechsten Sachstandsbericht 2021 (Arbeitsgruppe I) folgende Zahlen veröffentlicht:

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

Tab. 1: Verbleibende globale CO<sub>2</sub>-Budgets ab 2020<sup>2</sup>

Die Notwendigkeit der Bewertung sozioökonomischer Folgen bei der Geschwindigkeit der Dekarbonisierung, die angegebenen Wahrscheinlichkeiten, die Szenariovariation bei den Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgasen, geophysikalische Unsicherheiten und der Sachverhalt, dass der naturwissenschaftliche Kenntnisstand nicht statisch ist, machen deutlich, dass die Entscheidung über ein globales CO<sub>2</sub>-Budget, an dem sich NDCs orientieren, zwar wissenschaftlich basiert, aber letztendlich eine politische sein muss.

<sup>2</sup> Grundlagen für Tab. 1 sind die Tabellen SPM.2 und 5.8 im Sechsten Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I des IPCC (vgl. IPCC, 2021). [Hier](#) ein weitere Kurzzusammenfassung der Aussagen des IPCC (Wolfsteiner, 2024b). Wir geben hier nur die Budgets bis zu einer Erderwärmung von 1,8°C an, 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 CO<sub>2</sub> emissions and the global warming they cause. Each 1000 GtCO<sub>2</sub> of cumulative CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> emissions (TCRE). This relationship implies that reaching net zero anthropogenic CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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-CO<sub>2</sub> emissions, climate system feedbacks such as emissions from thawing permafrost, and the global surface temperature change after global anthropogenic CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 GtCO<sub>2</sub>) and non-CO<sub>2</sub> forcing and response (±220 GtCO<sub>2</sub>) are partially addressed by the assessed uncertainty in TCRE, but uncertainties in recent emissions since 2015 (±20 GtCO<sub>2</sub>) and the climate response after net zero CO<sub>2</sub> emissions are reached (±420 GtCO<sub>2</sub>) are separate.”

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

Die **globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen** werden in 2019 auf **40,9 Gt** bzw. Mrd. t geschätzt (GCP, 2023).

Hier eine Webanwendung zur Bestimmung linearer globaler Emissionspfade, die ein vorzuziehendes CO<sub>2</sub>-Budget einhalten, wobei die Berücksichtigung eines temporären Overshoots möglich ist: <http://global-paths.climate-calculator.info>.

Das deutsche Bundesverfassungsgericht hat in seinem wegweisenden Urteil 2021 dabei klargestellt: Klimapolitik muss sich an verbleibenden CO<sub>2</sub>-Restbudgets orientieren (vgl. BVerfG, 2021).<sup>3</sup> Dies ergibt sich aus der physikalisch gegebenen Budgeteigenschaft von CO<sub>2</sub>. Es gibt kein Entrinnen aus der Notwendigkeit, Entscheidungen unter Unsicherheit treffen zu müssen.

Wenn die Vertragsstaaten bei ihren NDCs ein dahinterstehendes globales CO<sub>2</sub>-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.

---

<sup>3</sup> 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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).

Das Urteil des Europäischen Gerichtshofs für Menschenrechte April 2024 kritisiert ebenfalls, dass in diesem Fall die Schweiz ihren Anteil der Verantwortung an dem global Notwendigen nicht ausreichend z. B. über ein CO<sub>2</sub>-Budget quantifiziert hat (vgl. European Court of Human Rights, 2024).

S. a. Anhang 3: Implizites deutsches CO<sub>2</sub>-Budget und implizite Gewichtung der Bevölkerung, S. 26.

## Das Extended Smooth Pathway Model (ESPM)

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

### Bestimmung nationaler Budgets

Es sind viele Kriterien denkbar, um nationale Budgets von einem globalen Budget abzuleiten.<sup>5</sup> 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. Damit werden die beiden wichtigsten Kriterien abgebildet. Zur Diskussion der Verwendung weiterer Kriterien sei auf den entsprechenden Exkurs in (Sargl, et al., 2024a) verwiesen.

Wir verwenden hier folgenden gewichteten Verteilungsschlüssel, der je nach Gewichtung alle Kombinationen der beiden Kriterien abbildet:<sup>6</sup>

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

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 CO<sub>2</sub>-Budget des Landes  $i$ ; hier ab 2020

$C$  Gewichtung der Bevölkerung

Diese Gewichtungsformel ermöglicht es, einen Kompromiss zu finden zwischen Gerechtigkeitsaspekten und der Machbarkeit der sich ergebenden Ziele [vgl. (Sargl, et al., 2024a) und (European Scientific Advisory Board on Climate Change, 2023)].

<sup>4</sup> 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., 2023) und (Wittmann & Wolfsteiner, 2023)].

<sup>5</sup> Folgende Prinzipien lassen sich grundsätzlich unterscheiden: historische Verantwortung, ökonomische Leistungsfähigkeit, Gleichheit, derzeitige Realität (Grandfathering) und Kosteneffizienz. Die hier verwendete Gewichtungsformel bildet die Prinzipien „Gleichheit“ und „Grandfathering“ ab. Siehe zur Aufteilung eines globalen Budgets auch den entsprechenden Exkurs [in](#) (Sargl, et al., 2024a).

<sup>6</sup> 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 oft mit folgender vereinfachten Formel berechnet:  $2 * B^i / E_{BY}^i$  (vgl. z. B. SRU, 2020).

- (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 jedoch andere Verläufe der Emissionspfade und insbesondere der jährlichen Veränderungssätze sinnvoller sein (siehe Kapitel „Szenariotypen aus einer klimapolitischen Gesamtschau“, S. 11). 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.<sup>7</sup> Jährliche Veränderungssätze werden in vielen Bereichen verwendet (z. B. Wirtschaftswachstum, Inflation, Geschäftsentwicklung etc.) und sind besonders gut geeignet, um einen sinnvollen Verlauf über die Zeit hinweg zu beschreiben.

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

Die Emissionspfade ergeben sich damit indirekt über die Bestimmung der jährlichen Veränderungssätze (RM 1 – 5) bzw. des jährlichen Reduktionsbetrages (RM-6).

Abb. 1 und Abb. 2 zeigen anhand globaler Pfade grafisch die Unterschiede zwischen den Szenariotypen.<sup>8</sup> Die Pfade können auch mit unserer Webanwendung: <http://paths.climate-calculator.info> gut nachvollzogen werden.

---

<sup>7</sup> Da RM-2-exp in den Ergebnissen nahezu äquivalent zu RM-4-quadr ist, wird RM-2 in diesem Papier nicht miteinbezogen (vgl. Wolfsteiner & Wittmann, 2023).

<sup>8</sup> Es werden hier globale Pfade gezeigt, da die Unterschiede zwischen den Szenariotypen bei der EU und Deutschland weniger deutlich sind, da sich dort relativ hohe Startveränderungssätze für 2020 ergeben (siehe Abb. 3/Abb. 4 und Fußnote 19). Bei den globalen Pfaden wurde ein globales CO<sub>2</sub>-Budget ab 2020 von 550 Mrd. t zugrunde gelegt. Als Startveränderungssatz 2020 wurde +0,5% gewählt. Als Minimumwert für die jährlichen Emissionen wurden -0,4 Mrd. t vorgegeben (rund -1% der Emissionen in 2019). Bereits bekannte Ist-Emissionen nach 2019 wurden hier nicht berücksichtigt.

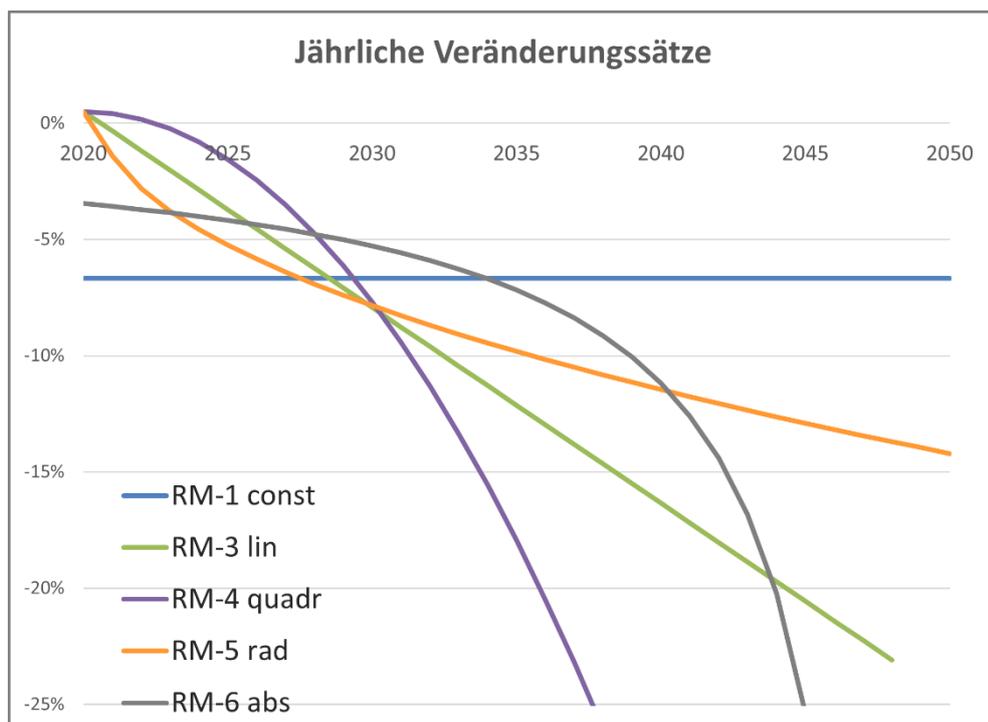


Abb. 1: Exemplarische jährliche Veränderungssätze der RM-Szenariotypen

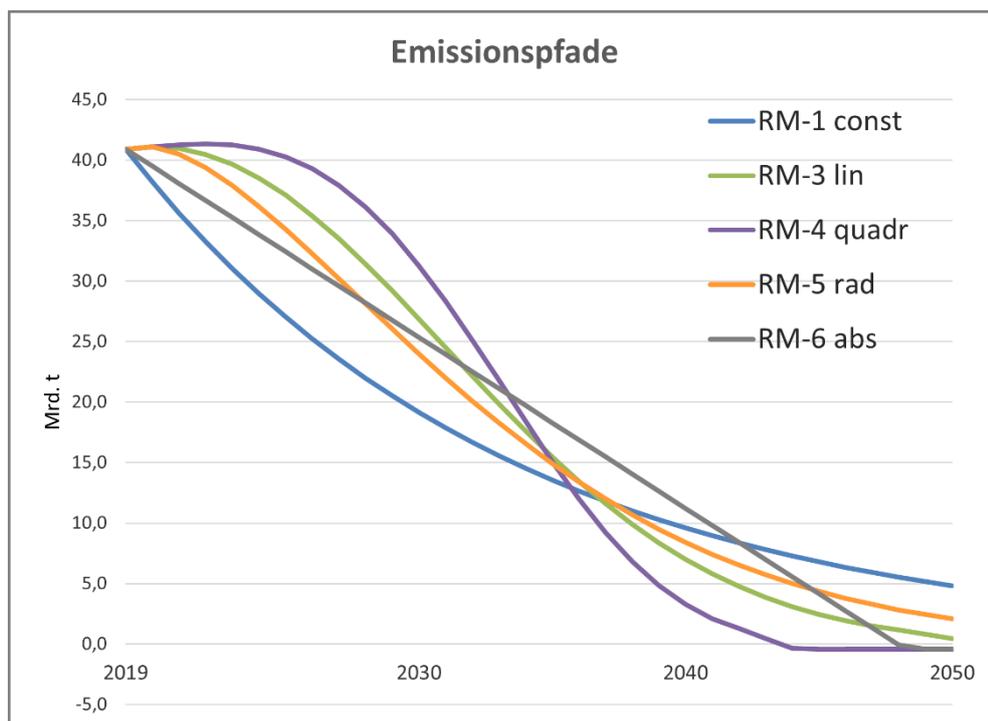


Abb. 2: Exemplarische Emissionspfade der RM-Szenariotypen

Tab. 2 gibt einen Überblick über die Eigenschaften der RM-Szenariotypen.<sup>9</sup> Für eine umfassende mathematische Beschreibung der RM-Szenariotypen verweisen wir [auf](#): (Wolfsteiner & Wittmann, 2023).

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 <sup>10</sup> (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 Anstieg<sup>11</sup> 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 3 – 5 hingegen ist der Startveränderungssatz ein zu wählender Parameter, der damit auf einer realistischen Basis vorgegeben werden kann.<sup>12</sup>

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

<sup>9</sup> 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) und (Sargl, et al., 2024b)]. Das ESPM und das RM können unter Resource Sharing Models subsumiert werden [vgl. (Sargl, et al., 2023) und (Wittmann & Wolfsteiner, 2023)].

<sup>10</sup> Abhängig von den Rahmendaten (v. a. Startveränderungssatz und Budget) kann der konkave Teil mehr oder weniger ausgeprägt sein. Bei den Rahmendaten zu Abb. 3: Exemplarische Verläufe Deutschland ergibt sich kein konkaver Teil aufgrund des verwendeten relativ hohen Startveränderungssatzes (siehe Fußnote 19).

<sup>11</sup> Folgend wird statt von „Veränderungssätzen“ meist 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.

<sup>12</sup> Siehe Fußnote 19 zu den festgelegten Startveränderungssätzen für Deutschland und die EU.

Szenariotyp RM-5-rad ist dagegen 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.

In der Realität werden die Reduktionssätze nicht die idealtypischen Verläufe aufweisen, da Krisen, konjunkturelle Auf- oder Abschwünge, technische und politische Entwicklungen etc. den Verlauf mitbestimmen werden.<sup>13</sup> 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 wird der Minimumwert der Emissionen bis 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.<sup>14</sup>

Zu beachten ist, dass weitere netto negative CO<sub>2</sub>-Emissionen notwendig sind, um Klimaneutralität zu erreichen. So müssen z. B. nicht vermeidbare Lach- und Methangasemissionen aus der Landwirtschaft zusätzlich durch negative CO<sub>2</sub>-Emissionen kompensiert werden. Außerdem können auch vor Erreichung von CO<sub>2</sub>-Neutralität negative CO<sub>2</sub>-Emissionen sinnvoll sein.

### ***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.<sup>15</sup>

---

<sup>13</sup> Werden die nationalen Ziele mit einem Emissionshandelssystem mit bindendem Cap umgesetzt, kann der politisch festgelegte Verlauf weitgehend eingehalten werden (vgl. Expertenrat für Klimafragen, 2022).

<sup>14</sup> Zu den Einschränkungen eines Mengen-Overshoots [siehe](#): (Wolfsteiner & Wittmann, 2024d).

<sup>15</sup> 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Emissionen verbundenen Lebensweise auf klimaneutrale Verhaltensweisen freiheitsschonend vollzogen werden könnte. (...) Danach darf nicht einer Generation zugestanden werden, unter vergleichsweise milder Reduktionslast große Teile des*

Dabei stellen sich folgende zentrale Fragen:

- (1) Welche jährlichen 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?<sup>16</sup>
- (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.

---

*CO<sub>2</sub>-Budgets zu verbrauchen, wenn damit zugleich den nachfolgenden Generationen eine radikale Reduktionslast überlassen und deren Leben umfassenden Freiheitseinbußen ausgesetzt würde“.*

<sup>16</sup> 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 CO<sub>2</sub>-Budget ab 2020 von 550 Mrd. t zugrunde gelegt. Dieses korrespondiert laut 6. Sachstandsberichts des IPCC 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 CO<sub>2</sub>-Budgets ab 2020:

Gewichtung Bevölkerung	100%	75%	50%	25%	0%	
	Verbleibende CO <sub>2</sub> -Budgets ab 2020 in Mrd. t	5,9	6,9	7,9	8,9	9,9
	EU	31,9	33,7	35,6	37,4	39,2

Tab. 3: Exemplarische CO<sub>2</sub>-Budgets Deutschland / EU bei einem globalen Budget von 550 Mrd. t<sup>18</sup>

Tab. 4 und Tab. 5 zeigen exemplarische Emissionsziele für Deutschland und die EU bei einer Gewichtung der Bevölkerung mit 50%.<sup>19</sup> Abb. 3 und Abb. 4 zeigen die Verläufe grafisch.<sup>20</sup>

<sup>17</sup> S. a. Anhang 3: Implizites deutsches CO<sub>2</sub>-Budget und implizite Gewichtung der Bevölkerung.

<sup>18</sup> **Berechnungsgrundlagen der Budgets für Deutschland und der EU:**

Folgende Datenbanken wurden verwendet: (EEA, 2024), (EDGAR, 2023), (UBA, 2024) und (GCP, 2023).

Die Berechnung der Budgets und die zugrundeliegenden Daten können mit unserem entsprechenden [Excel-Tool](#) (Wolfsteiner & Wittmann, 2024c) nachvollzogen werden. Dazu kann auch unsere Webanwendung <http://national-budgets.climate-calculator.info> verwendet werden (für Deutschland können sich kleine Abweichungen ergeben, da die Ist-Emissionen bis einschließlich 2023, die vom UBA veröffentlicht wurden, dort nicht berücksichtigt werden).

### Einschränkung bei den Ergebnissen:

Beim Anteil der EU bzw. Deutschlands an den globalen Emissionen ( $E_{BY}^i/E_{BY}$ ) werden die Emissionsdaten für die EU und für Deutschland laut (EEA, 2024) mit den globalen Emissionen laut (GCP, 2023) ins Verhältnis gesetzt. Dabei enthalten die Emissionen laut EEA LULUCF (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) und die Emissionen laut GCP LUC (Land-use change). Insoweit diese beiden Emissionskategorien inhaltlich nicht deckungsgleich sind, ergibt sich eine Verzerrung der Ergebnisse.

<sup>19</sup> **Verwendete Rahmendaten:**

### Startveränderungssatz 2020

Bei den folgenden exemplarischen Emissionszielen wurde ein normalisierter Startveränderungssatz 2020 für Deutschland von -6,9% und für die EU von -4,2% unterstellt. Diese entsprechen den Ist-Reduktionssätzen des Jahres 2019 (vgl. EEA, 2024). 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.

### Minimumwert Emissionen (Potenzial für netto negative Emissionen; Overshoot)

Als Minimumwerte für die Emissionen bis 2100 wurden -1% der jeweiligen Emissionen in 2019 angesetzt. Zu der Bestimmung des Potenzials für Netto-Negativ-Emissionen [s. a.](#): (Wolfsteiner & Wittmann, 2024d).

### Berücksichtigung von Ist-Emissionen

So weit vorhanden, wurden Ist-Emissionen berücksichtigt [EU bis einschließlich 2022 (EEA, 2024), Deutschland bis einschließlich 2023 (UBA, 2024)].

### Verallgemeinerbarkeit der Rahmendaten

Zur Frage der Verallgemeinerbarkeit dieser Rahmendaten, insbesondere der Gewichtung der Bevölkerung, [vgl.](#) (Sargl, et al., 2024a).

<sup>20</sup> Da sich für Deutschland und die EU relativ hohe normalisierte Startveränderungssätze 2020 ergeben (siehe Fußnote 19), sind die Unterschiede bei den Szenariotypen weniger ausgeprägt (vgl. im Gegensatz dazu Abb. 1 und Abb. 2).

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	-33% (Ist-Wert)				
2025	-54%	-53%	-52%	-51%	-49%
<b>2030</b>	<b>-72%</b>	<b>-71%</b>	<b>-70%</b>	<b>-68%</b>	<b>-64%</b>
2035	-84%	-83%	-82%	-81%	-78%
2040	-90%	-90%	-90%	-90%	-93%
2045	-94%	-95%	-95%	-96%	-101%
2050	-97%	-97%	-98%	-99%	-101%
<b>Jahr CO<sub>2</sub>-Neutralität:</b>	<b>2062</b>	<b>2060</b>	<b>2056</b>	<b>2052</b>	<b>2043</b>
Overshoot in Mrd. t	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6
CO <sub>2</sub> -Budget 2030 - 2050 in Mrd. t	2,7	2,7	2,8	2,8	2,6

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

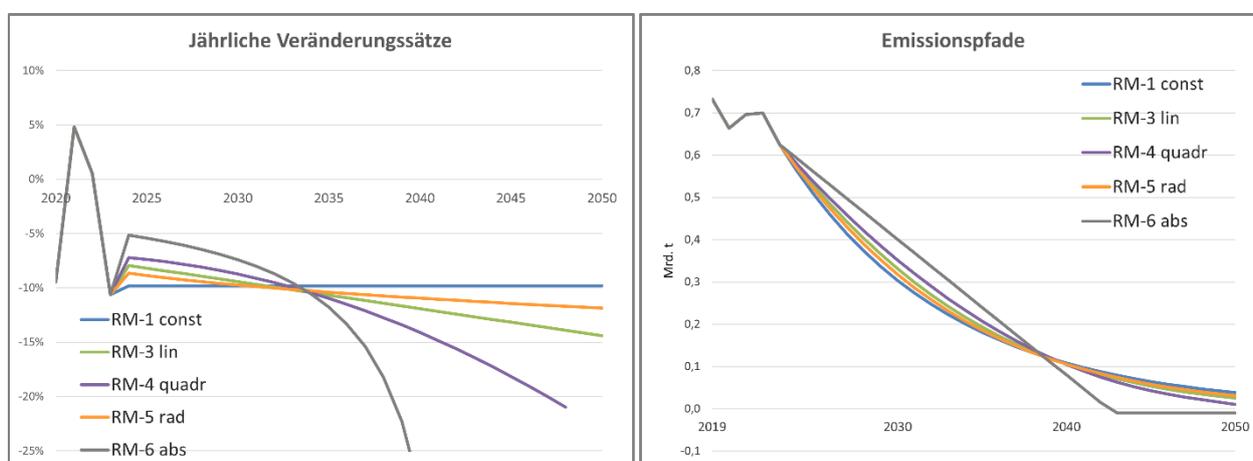


Abb. 3: Exemplarische Verläufe Deutschland<sup>21</sup>

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	-45%	-42%	-40%	-38%	-38%
<b>2030</b>	<b>-65%</b>	<b>-61%</b>	<b>-59%</b>	<b>-55%</b>	<b>-54%</b>
2035	-77%	-76%	-75%	-72%	-70%
2040	-85%	-86%	-86%	-87%	-86%
2045	-91%	-92%	-93%	-96%	-101%
2050	-94%	-96%	-97%	-100%	-101%
<b>Jahr CO<sub>2</sub>-Neutralität:</b>	<b>2067</b>	<b>2062</b>	<b>2057</b>	<b>2050</b>	<b>2045</b>
Overshoot in Mrd. t	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7
CO <sub>2</sub> -Budget 2030 - 2050 in Mrd. t	13,3	13,5	13,6	13,5	13,4

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

<sup>21</sup> Ist-Werte bis einschließlich 2023 (UBA, 2024).

Bei den hier unterlegten Rahmendaten müsste die EU z. B. im Szenariotyp RM-6 ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 um 54% gegenüber 1990 senken und 2045 CO<sub>2</sub>-Neutralität erreichen.<sup>22</sup>

Bei dem vorgegebenen Minimumwerte für die Emissionen bis 2100 von -1% der Emissionen in 2019 ergäbe sich ein durch Netto-Negativ-Emissionen ausgleichender Mengen-Overshoot von 1,7 Mrd. t CO<sub>2</sub>. Zur Orientierung: Die Emissionen der EU beliefen sich in 2019 auf 2,9 Mrd. t. Zu beachten ist, dass zur Erreichung von Klimaneutralität zusätzliche netto negative CO<sub>2</sub>-Emissionen erforderlich sind, um andere Treibhausgase wie zum Beispiel Methan und Lachgas aus der Landwirtschaft auszugleichen. Daher muss CO<sub>2</sub>-Neutralität vor der Klimaneutralität erreicht werden.

Bis 2025 müssten die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 38% sinken, wobei bis 2019 -23% und bis 2022 -28% erreicht wurden. Bis 2040 müssten die CO<sub>2</sub>-Emissionen der EU um 86% reduziert werden und für den Zeitraum 2030 – 2050 ergäbe sich ein CO<sub>2</sub>-Budget von 13,4 Mrd. t.<sup>23</sup>

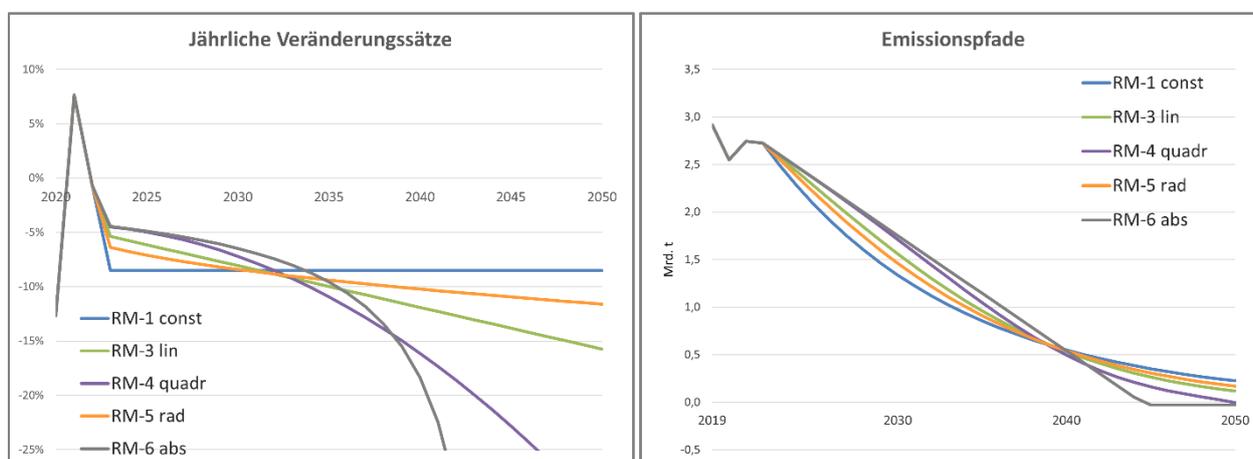


Abb. 4: Exemplarische Verläufe EU<sup>24</sup>

<sup>22</sup> Hier verwendete Definition für das Jahr der CO<sub>2</sub>-Neutralität: Erstes Jahr, in dem die Gesamtemissionen gleich null oder netto negativ sind.

<sup>23</sup> S. a. Fußnote 27 zur entsprechenden Empfehlung des **European Scientific Advisory Board on Climate Change**.

<sup>24</sup> Ist-Werte bis einschließlich 2022 (EEA, 2024).

## Einordnung der Ziele der EU<sup>25</sup>

Die EU hat am 17.12.2020 ein neues NDC eingereicht, welches die Verschärfung des EU-Ziels für 2030 von -40% auf -55% gegenüber 1990 und das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 enthält (vgl. UNFCCC, 2020).<sup>26</sup>

Im Februar 2024 hat die EU-Kommission vorgeschlagen, für 2040 ein Reduktionsziel von -90% gegenüber 1990 festzulegen (European Commission, 2024). Die explizite Festlegung eines CO<sub>2</sub>-Budgets fehlt jedoch weiterhin. Es werden auch keine konkreten Aussagen zu einem Mengen-Over-shoot gemacht.<sup>27</sup>

Bei den hier verwendeten exemplarischen globalen Rahmendaten können die Ziele der EU als weitgehend Paris-kompatibel bezeichnet werden, wenn eine Gewichtung der Bevölkerung mit 50% und ein globales CO<sub>2</sub>-Budget ab 2020 von 550 Mrd. t als vertretbar angesehen werden.<sup>28</sup>

Werden diese Rahmendaten auf die sechs größten Emittenten angewendet, die rund 70% der aktuellen globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu verantworten haben (siehe Tab. 6), zeigt sich, dass dies zu schwer zu realisierenden Ergebnissen führt (vgl. Sargl, et al., 2024a, Tab. 8).<sup>29</sup> Die USA und China müssten z. B. bereits vor 2040 CO<sub>2</sub>-neutral sein. Die Analyse [in](#) (Sargl, et al., 2024a) zeigt, dass

---

### <sup>25</sup> Ziele Deutschlands

Deutschland hat nach dem Urteil des Bundesverfassungsgerichts in 2021 seine Ziele auf -65% bis 2030 gegenüber 1990 und Klimaneutralität bis 2045 angehoben. Deutschland reicht jedoch keine eigenes NDC ein, sondern ist Teil des NDC der EU.

#### **Anmerkung zum Anteil Deutschlands an den globalen Emissionen:**

Deutschland hatte zwar in 2019 nur einen Anteil von 1,8% an den globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Fasst man jedoch alle Länder zusammen (ohne die EU), die einen Anteil von unter 2% haben, dann haben diese jedoch insgesamt einen Anteil von rund 40% an den globalen Emissionen. Dies bedeutet, dass auch Länder mit einem geringen Anteil an den globalen Emissionen sich nicht aus der Verantwortung stehlen können.

<sup>26</sup> Ohne Berücksichtigung, dass die Ziele der EU und Deutschlands sich auf alle Treibhausgase beziehen, resultiert aus den Zielen eine Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 **gegenüber 2019** (statt gegenüber 1990) für die **EU** um **42%** und für **Deutschland** um **48%**. Im Rahmen der Lastenteilung innerhalb der EU (Effort Sharing Regulation, ESR) übernimmt Deutschland ehrgeizigere Ziele. Die Unterschiede in den Ambitionen werden im Wesentlichen aus den Pro-Kopf-Einkommen abgeleitet.

<sup>27</sup> Das **European Scientific Advisory Board on Climate Change** hatte folgende **Empfehlung** zu den gesamten Treibhausgasen gegeben (European Scientific Advisory Board on Climate Change, 2023):

*„2030-2050 carbon budget and the 2040 climate target*

*The report recommends keeping the EU's greenhouse gas emissions budget (i.e. cumulative emissions) for the period 2030 to 2050 within a limit of 11-14 Gt CO<sub>2</sub>e, in line with limiting global warming to 1.5 °C (with no or only limited and temporary exceedance of that temperature).*

*To achieve this, the EU must strive for net emissions reductions of 90-95% by 2040, relative to 1990 levels. These reductions are essential for mitigating climate risks and achieving a sustainable future.“*

<sup>28</sup> **Einschränkung:** Beim Vergleich dieser Ziele mit den oben gezeigten exemplarischen Emissionszielen ist zu beachten, dass die **Ziele** der EU und **Deutschlands** sich auf **alle Treibhausgase** beziehen. Sollen Treibhausgasfraktionen deutlich unterschiedlich schnell gesenkt werden, ist ein direkter Vergleich nicht möglich.

<sup>29</sup> **Einschränkung:** [In](#) (Sargl, et al., 2024a) werden auf nationaler Ebene nur die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Nutzung fossiler Brennstoffe und Zementherstellung ohne internationale Schiff- und Luftfahrt (ISA) untersucht. Emissionen durch Landnutzungsänderungen (LUC) bzw. LULUCF (s.a. Fußnote 18) und ISA werden dort auf globaler Ebene berücksichtigt.

verallgemeinerbare Rahmendaten in Richtung einer geringeren Gewichtung der Bevölkerung und zu einem höheren globalen CO<sub>2</sub>-Budget weisen.

Wenn die EU vor diesem Hintergrund ihre Ziele transparent von globalen Rahmendaten ableiten würde, könnte der Druck auf andere sich erhöhen, ambitioniertere Ziele vorzulegen.

## Roadmap zu Paris-kompatiblen NDCs

Die exemplarischen Ergebnisse für Deutschland und die EU zeigen, wie wichtig es ist, globale Rahmendaten als Grundlage für nationale Ziele zu thematisieren. Den globalen Rahmendaten liegen dabei Fragestellungen zugrunde, die letztendlich politisch entschieden werden müssen.

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

- Rahmendaten in Bezug auf CO<sub>2</sub> auf Basis des derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstands konkretisieren; insbesondere was das globale CO<sub>2</sub>-Budget und den Umfang der Berücksichtigung von netto negativen CO<sub>2</sub>-Emissionen betrifft.
- Auf dieser Basis nationale CO<sub>2</sub>-Budgets ableiten, die einer fairen und ökonomisch sinnvollen Aufteilung eines globalen CO<sub>2</sub>-Budgets gerecht werden.<sup>30</sup>
- Sich bei den nationalen Emissionszielen bzw. beim nationalen Emissionspfad an einem klimapolitisch sinnvollen Verlauf der jährlichen Veränderungssätze orientieren.<sup>31</sup>
- Die Rahmendaten und Reduktionsziele regelmäßig auf der Basis neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse und technischer/realer Entwicklungen nachsteuern.
- Ziele instrumentell so unterlegen, dass sie auch eingehalten werden. Ein sehr effektiver Weg sind dabei harte Emissionsobergrenzen in Emissionshandelssystemen (vgl. Expertenrat für Klimafragen, 2022).

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

Entscheidend ist jetzt, dass die großen Emittenten (siehe Tab. 6) ein Verhandlungsformat finden, um verbindliche Paris-kompatible Ziele zu vereinbaren und damit auch eine Führungsrolle zu übernehmen. Siehe dazu unser analoges Papier zu den sechs größten Emittenten: (Sargl, et al., 2024a). Die UN-Klimakonferenzen sind auch aufgrund ihrer Einstimmigkeitsregel mit über 190 Vertragsstaaten dafür nicht der passende Verhandlungsort (vgl. Edenhofer, 2022).

---

<sup>30</sup> 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. Siehe zur Aufteilung eines globalen Budgets auch den entsprechenden Exkurs [in](#) (Sargl, et al., 2024a).

Aufgrund der Budgeteigenschaft von CO<sub>2</sub> sollten neben den Zielen zu allen Treibhausgasen parallel Ziele nur für CO<sub>2</sub> festgelegt werden.

<sup>31</sup> Siehe Kapitel „Szenariotypen aus einer klimapolitischen Gesamtschau“, S. 11.

Aber auf alle Vertragsstaaten muss der Druck erhöht werden, im Pariser-Ambitionsmechanismus (Ratchet Mechanism) Paris-kompatible NDCs vorzulegen. Vertragsstaaten, die mit guten Argumenten ihr NDC als Paris-kompatibel bezeichnen können, haben dabei mehr Glaubwürdigkeit, Druck auf andere Länder auszuüben.

Unter anderem im Rahmen der Globalen Bestandsaufnahme (Global Stocktake; GST) wird deutlich, wie weit wir noch von der Einhaltung der Pariser Klimaziele entfernt sind (vgl. UNFCCC, 2023). Spätestens in 2025 müssen alle Vertragsstaaten neue ehrgeizigere NDCs vorlegen. Dies könnte die letzte Chance sein, die Pariser-Klimaziele in Reichweite zu halten.

	emissions in Gt			per capita 2019 in t	share in global emissions 2019	share in global population 2019
	1990	2010	2019			
China	2.4	9.1	11.8	8.3	32%	18%
United States	5.0	5.5	5.0	15.1	14%	4%
EU27	3.8	3.4	2.9	6.5	8%	6%
India	0.6	1.7	2.5	1.9	7%	18%
Russia	2.4	1.7	1.9	13.0	5%	2%
Japan	1.2	1.2	1.1	8.9	3%	2%
Sum	15.3	22.7	25.2		69%	50%
Global	21.9	32.7	36.5	4.7	100%	

Tab. 6: Daten der sechs größten Emittenten<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Es handelt sich um CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Nutzung fossiler Brennstoffe und durch die Zementherstellung ohne internationale Schiff- und Luftfahrt (EDGAR, 2023). CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Landnutzungsänderungen (LUC) sind damit nicht enthalten. Die hier verwendeten Daten für die EU und für Deutschland decken dagegen grundsätzlich alle CO<sub>2</sub>-Emissionen ab (zu den Einschränkungen siehe Fußnote 18).

## 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](http://www.bverfg.de/e/rs20210324_1bvr265618.html)

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, 2023. *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 20 10 2023].

EEA, 2024. *EEA greenhouse gas - data viewer.* [Online]

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

[Accessed 16 04 2024].

European Commission, 2024. *Commission presents recommendation for 2040 emissions reduction target to set the path to climate neutrality in 2050.* [Online]

Available at: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_24\\_588](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_588)

[Zugriff am 11 02 2024].

European Court of Human Rights, 2024. *Grand Chamber rulings in the climate change cases.*

[Online]

Available at: <https://www.echr.coe.int/w/grand-chamber-rulings-in-the-climate-change-cases>

European Scientific Advisory Board on Climate Change, 2023. *Scientific advice for the determination of an EU-wide 2040 climate target and a greenhouse gas budget for 2030–2050.*

[Online]

Available at: <https://climate-advisory-board.europa.eu/reports-and-publications/scientific-advice-for-the-determination-of-an-eu-wide-2040>

Expertenrat für Klimafragen, 2022. *Zweijahresgutachten 2022 - Gutachten zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen, Trends der Jahresemissionsmengen und zur Wirksamkeit von Maßnahmen.* [Online]

Available at: <https://www.expertenrat-klima.de/publikationen/>

Forster, P. M. et al., 2023. *Indicators of Global Climate Change 2022: Annual update of largescale indicators of the state of the climate system and the human influence*. [Online]  
Available at: <https://doi.org/10.5194/essd-2023-166>

GCP, 2023. [Online]  
Available at: <https://globalcarbonbudget.org>  
[Accessed 05 12 2023].

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 CO<sub>2</sub>-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>

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., 2023. *Distribution of a Global CO<sub>2</sub> Budget - A Comparison of Resource Sharing Models*. [Online]  
Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4603032>

Sargl, M., Wiegand, D., Wittmann, G. & Wolfsteiner, A., 2024a. *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., Wittmann, G. & Wolfsteiner, A., 2024b. *Calculation of Paris-compatible emission targets and CO<sub>2</sub> budgets for the six largest emitters with the Regensburg Model*. [Online]  
Available at: <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.6504452>

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 CO<sub>2</sub> darf Deutschland maximal noch ausstoßen? Fragen und Antworten zum CO<sub>2</sub>-Budget*. [Online]  
Available at:  
[https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04\\_Stellungnahmen/2020\\_2024/2022\\_06\\_fragen\\_und\\_antworten\\_zum\\_co2\\_budget.html](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2022_06_fragen_und_antworten_zum_co2_budget.html)

SRU, 2024. *Wo stehen wir beim CO<sub>2</sub>-Budget? Eine Aktualisierung*. [Online]  
Available at:  
[https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04\\_Stellungnahmen/2020\\_2024/2024\\_03\\_CO2\\_Budget.html](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2024_03_CO2_Budget.html)  
[Zugriff am 25 03 2024].

UBA, 2024. *Emissionsübersichten KSG-Sektoren 1990-2023*. [Online]  
Available at:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2024\\_03\\_13\\_em\\_entwicklung\\_in\\_d\\_ksg-sektoren\\_thg\\_v1.0.xlsx](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2024_03_13_em_entwicklung_in_d_ksg-sektoren_thg_v1.0.xlsx)  
[Zugriff am 15 03 2024].

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, 2023. *Technical dialogue of the first global stocktake. Synthesis report by the co-facilitators on the technical dialogue*. [Online]  
Available at: <https://unfccc.int/documents/631600>

Wiegand, D. et al., 2021. Berechnung Paris-kompatibler Emissionspfade mit dem ESP-Modell am Beispiel der EU. *Wirtschaftsdienst*, 20 2, pp. 127 - 133.

Wittmann, G. & Wolfsteiner, A., 2023. *Resource Sharing Models – A Mathematical Description*. [Online]

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

Wolfsteiner, A., 2024a. *Ableitung eines impliziten CO<sub>2</sub>-Budgets für Deutschland aus dem Klimaschutzgesetz*. [Online]

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

Wolfsteiner, A., 2024b. *What does the IPCC say about the remaining CO<sub>2</sub> budgets?*. [Online]

Available at: <http://ipcc-co2-budgets.climate-calculator.info>

Wolfsteiner, A. & Wittmann, G., 2023. *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., 2024a. *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., 2024b. *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., 2024c. *Tool: Implicit and explicit weighting of the population in the allocation of a global CO<sub>2</sub> budget*. [Online]

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

Wolfsteiner, A. & Wittmann, G., 2024d. *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:
  - CO<sub>2</sub>-Budgets und Emissionspfade für die EU: <http://eu.climate-calculator.info>.
  - CO<sub>2</sub>-Budgets für alle Länder der Welt: <http://national-budgets.climate-calculator.info>. Außerdem werden in dieser App wichtige Emissionsziele bei einem linearen Emissionspfad angegeben.
  - Emissionspfade, die ein vorzugebendes Budget einhalten: <http://paths.climate-calculator.info>.
  - Lineare globale Emissionspfade: <http://global-paths.climate-calculator.info>.
  - Übersicht zu den Webanwendungen: <https://climate-calculator.info>.
- Auf unserer Webseite <http://downloads.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, 2024a), 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, 2024b). 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 CO<sub>2</sub>-Budgets‘; veröffentlicht auf [Zenodo](#) (Wolfsteiner & Wittmann, 2024c).  
Basierend auf der Verteilung eines globalen CO<sub>2</sub>-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:
  - Nationale CO<sub>2</sub>-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.).
  - Implizite Gewichtung der Bevölkerung ausgehend von einem nationalen Budget, das z. B. aus einem NDC abgeleitet wurde (s. a. Anhang 3: Implizites deutsches CO<sub>2</sub>-Budget und implizite Gewichtung der Bevölkerung).
- Excel-Tool: Ableitung eines impliziten CO<sub>2</sub>-Budgets für Deutschland aus dem Klimaschutzgesetz (KSG); veröffentlicht auf [Zenodo](#) (Wolfsteiner, 2024a).

## Anhang 2: Abgleich mit den Zahlen des SRU

Im vorliegenden Papier wird ein verbleibendes globales Budget ab 2020 aufgeteilt und damit die Gewichtung der Bevölkerung ab 2020 angewendet.<sup>33</sup> 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 CO<sub>2</sub>-Budgets aufgrund aktueller Zahlen (vgl. Wolfsteiner & Wittmann, 2024c):

		in Mrd. t CO <sub>2</sub>			
<b>Globales CO<sub>2</sub>-Budget ab 2020 (IPCC AR6)</b>		<b>775</b>	<b>550</b>	<b>500</b>	<b>400</b>
Korrespondierende Ziele		1,75°C/67%	1,7°C/83%	1,5°C/50%	1,5°C/67%
Deutsche CO <sub>2</sub> -Budgets ab	Quelle				
2020	(Wolfsteiner & Wittmann, 2024c)	7,2	4,7	4,1	3,0
2022	(SRU, 2022)	5,8	3,3	2,8	1,7
		6,1		3,1	2,0

Tab. 7: Deutsche CO<sub>2</sub>-Budgets in der Logik des SRU 2022

Der SRU hat im Juni 2022 aktualisierte Zahlen für Budgets ab 2022 veröffentlicht (vgl. SRU, 2022, p. 8), die in Tab. 7 wiedergegeben werden. Gründe für die Abweichungen zu unseren Berechnungen (0,3 Mrd. t) 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.

Im März 2024 hat der SRU eine weitere Aktualisierung veröffentlicht (SRU, 2024). Dort werden auch neuere wissenschaftliche Erkenntnisse zum verbleibenden globalen CO<sub>2</sub>-Budget berücksichtigt (vgl. Forster, et al., 2023):

		in Mrd. t CO <sub>2</sub>		
Korrespondierende Ziele		1,75°C/67%	1,5°C/50%	1,5°C/67%
<b>Globales CO<sub>2</sub>-Budget ab 2020</b>	IPCC AR6	775	500	400
	(Forster, et al., 2023) <sup>34</sup>	<b>689</b>	<b>351</b>	<b>288</b>
Deutsches CO <sub>2</sub> -Budget ab	Quelle			
2020	(Wolfsteiner & Wittmann, 2024c)	6,2	2,5	1,8
2024	(SRU, 2024)	3,5	-0,2	-0,9
		3,9	-0,1	-0,6

Tab. 8: Deutsche CO<sub>2</sub>-Budgets in der Logik des SRU 2024

<sup>33</sup> S. a. Fußnote 5 zur Frage der **Aufteilung** eines **globalen CO<sub>2</sub>-Budgets** und entsprechenden Exkurs [in](#) (Sargl, et al., 2024a).

<sup>34</sup> Herleitung [siehe](#) (Wolfsteiner & Wittmann, 2024c); dort Register „updated budgets“.

### Anhang 3: Implizites deutsches CO<sub>2</sub>-Budget und implizite Gewichtung der Bevölkerung

#### Implizites deutsches CO<sub>2</sub>-Budget:<sup>35</sup>

Aus dem Klimaschutzgesetz (KSG) und dem Ampel-Koalitionsvertrag lässt sich unter gewissen Annahmen ein implizites CO<sub>2</sub>-Budget für den Zeitraum 2020 – 2050 von **7,9 Mrd. t** für Deutschland [ableiten](#) (vgl. Wolfsteiner, 2024a).

Aus dem KSG lassen sich auch die jährlichen Veränderungssätze der Emissionen der KSG-Sektoren ableiten (siehe Abb. 5), deren Sinnhaftigkeit insbesondere 2030 – 2040 Zweifel erwecken (s. a. Kapitel „Szenariotypen aus einer klimapolitischen Gesamtschau“, S. 11).

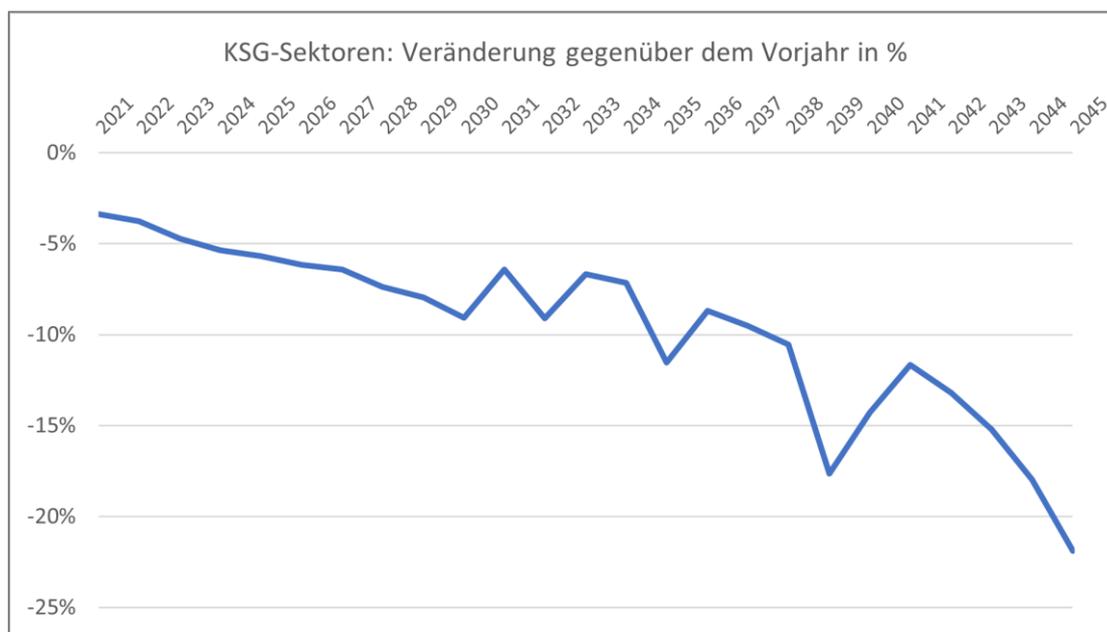


Abb. 5: Jährliche Veränderungssätze laut Klimaschutzgesetz<sup>36</sup>

#### Implizite Gewichtung der Bevölkerung durch ein implizites deutsches CO<sub>2</sub>-Budget:

Werden diese 7,9 Mrd. t CO<sub>2</sub> herangezogen, ergeben sich folgende implizite Gewichtungen der Bevölkerung (*IWP*) bei Umformung obiger Gewichtungsformel für die Verteilung eines globalen Budgets (siehe Kapitel „Bestimmung nationaler Budgets“, S. 7):

Globales CO <sub>2</sub> -Budget ab 2020 in Mrd. t	400	500	550	650
Implizite Gewichtung Bevölkerung; CO <sub>2</sub> -Budget 7,9 Mrd. t	-26%	30%	50%	81%

Tab. 9: Implizite Gewichtung Bevölkerung aufgrund eines impliziten CO<sub>2</sub>-Budgets für Deutschland<sup>37</sup>

<sup>35</sup> Vgl. auch (Knopf & Geden, 2022).

<sup>36</sup> [Quelle:](#) (Wolfsteiner, 2024a).

<sup>37</sup> Siehe [hier](#) unser Tool zur Berechnung der impliziten Gewichtung der Bevölkerung: (Wolfsteiner & Wittmann, 2024c).

Dabei wurde folgende Formel verwendet:

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

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 kann die Ableitung eines impliziten nationalen CO<sub>2</sub>-Budgets aus den nationalen Zielen sein, wenn ein CO<sub>2</sub>-Budget ( $B^i$ ) nicht explizit angegeben wird.