

Berechnung Paris-kompatibler Emissionspfade mit dem ESPM am Beispiel Deutschlands

DOI 10.5281/zenodo.5734890

veröffentlicht auf [Zenodo](#)

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

Stand: 29.11.2021¹

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

Am Beispiel Deutschlands werden exemplarische Emissionsziele gezeigt.

Hinweisen möchten wir auch auf die entsprechenden Papiere
für die [EU](#) (Sargl, et al., 2021a (update)) und für die [sechs größten Emittenten](#) (Sargl, et al., 2021b (update)).

¹ Versionshistorie (wesentliche Änderungen):

- 22.11.2021: Daten zu den globalen Emissionen aktualisiert (GCP, 2021).
- 29.11.2021: Emissionen 1990 in Fußnote 17 korrigiert.

Inhalt

Einleitung	3
Globale CO ₂ -Budgets	4
Das Extended Smooth Pathway Model	6
Bestimmung nationaler Budgets	6
Bestimmung nationaler Emissionspfade	6
Szenariotypen aus einer klimapolitischen Gesamtschau	10
Exemplarische Emissionsziele für Deutschland.....	12
Schlussfolgerungen.....	14
Tools zum ESPM.....	15
Literaturverzeichnis	16

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Exemplarische jährliche Reduktionssätze Deutschland	9
Abb. 2: Exemplarische Emissionspfade für Deutschland.....	9

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Verbleibende globale CO ₂ -Budgets ab 2020.....	4
Tab. 2: Übersicht RM-Szenariotypen	7
Tab. 3: Exemplarische CO ₂ -Budgets für Deutschland bei einem globalen Budget von 500 Mrd. t.....	12
Tab. 4: Exemplarische Emissionsziele für Deutschland – globales Budget 500 Mrd. t / Bevölkerung 50% ..	12

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 Ausgestaltung/Umsetzung/Konkretisierung 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?²
- Wie kann ein daraus resultierendes nationales CO₂-Budget in einen sinnvollen nationalen Emissionspfad übersetzt werden?

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

Deutschland reicht keine eigenen NDCs ein, sondern ist Teil des NDC der EU.³

² Das Konzept der Nationally Determined Contributions (NDCs) wurde im Artikel 4 des Pariser Abkommen eingeführt. Da ein Top-Down-Ansatz nicht durchsetzbar war, soll dieser Ambitionsmechanismus (eine Mischung aus Top-Down und Bottom-Up) zum Ziel führen.

Das UNFCCC hat am 25.10.2021 einen aktualisierten Synthesebericht zu den vorliegenden NDCs veröffentlicht. Eine zentrale Aussage daraus ist: „*The total global GHG emission level in 2030, taking into account implementation of all the latest NDCs, is expected to be 15.9 per cent above the 2010 level. According to the SR1.5 to be consistent with global emission pathways with no or limited overshoot of the 1.5°C goal, global net anthropogenic CO₂ emissions need to decline by about 45 per cent from the 2010 level by 2030, reaching net zero around 2050. For limiting global warming to below 2°C, CO₂ emissions need to decrease by about 25 per cent from the 2010 level by 2030 and reach net zero around 2070*“ (UNFCCC, 2021, p. 6).

Auf der UN-Klimakonferenz in Glasgow 2021 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;“

³ 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).

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 2020⁴

In der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger führt der IPCC dazu 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.“

Die Notwendigkeit der Bewertung sozioökonomischer Folgen bei der Geschwindigkeit der Dekarbonisierung und die angegebenen Wahrscheinlichkeiten/Bandbreiten 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 einem wegweisenden Urteil 2021 klargestellt: Klimapolitik muss sich an verbleibenden CO₂-Restbudgets orientieren (vgl. BVerfG, 2021).⁵

⁴ Grundlagen für Tab. 1 sind die Tabellen SPM.2 und 5.8 im Sechsten Sachstandsbericht des IPCC (cf. IPCC, 2021). Die angegebenen Wahrscheinlichkeiten geben an, in wie viel Prozent der untersuchten Szenarien das Temperaturziel eingehalten wurde (cf. MCC, 2020). Zu den weiteren naturwissenschaftlichen Hintergründen wird auf den IPCC-Bericht verwiesen.

⁵ Auszug aus den wesentlichen Erwägungen des Bundesverfassungsgerichts:

“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

Wenn die Vertragsstaaten bei ihren NDCs ein dahinterstehendes globales CO₂-Budget und einen dahinterstehenden Verteilungsschlüssel transparent machen bzw. dies z. B. von der Zivilgesellschaft eingefordert wird, kann dies einen Diskurs in Gang setzen, der zu konvergierenden globalen Orientierungsgrößen führt.⁶

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” (BVerfG, 2021).

⁶ Vgl. dazu u. a. unser Papier zu Paris-kompatiblen Emissionszielen für die sechs größten Emittenten: (Sargl, et al., 2021b (update)).

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.⁷

Bestimmung nationaler Budgets

Es sind viele Kriterien denkbar, um nationale Budgets von einem globalen Budget abzuleiten.⁸ Peters et al. betonen dabei die besondere Aussagekraft der Kombination der beiden Kriterien “Bevölkerung” und “aktuelle 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). Über die „aktuellen Emissionen“ kann 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 verbleibendes globales CO₂-Budget; hier ab 2020

B^i verbleibendes 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).

⁷ 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., 2021c) und (Wittmann, 2021)].






⁸ 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., 2021b (update)).

(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 Reduktionssätze jedoch sinnvoller sein (s. a. Kapitel: „Szenariotypen aus einer klimapolitischen Gesamtschau“).

Unsere Tools bieten sechs idealtypische Szenariotypen an (siehe Abb. 1 und Abb. 2 zur grafischen Darstellung der Szenariotypen bzw. unsere Web-Apps <http://climate-calculator.info/>). Dabei unterscheiden sich die Szenariotypen RM 1 – 5 in der Annahme über den Verlauf der jährlichen Reduktionssätze.⁹ RM-6 geht von einem konstanten jährlichen Reduktionsbetrag aus. Die Emissionspfade ergeben sich daher indirekt über die Bestimmung der jährlichen Reduktionssätze bzw. des jährlichen Reduktionsbetrages. Die Szenariotypen ermöglichen damit eine letztendlich politische Entscheidung über den Verlauf des angestrebten Emissionspfades. Tab. 2 gibt einen Überblick über die RM-Szenariotypen.¹⁰ Für eine umfassende mathematische Beschreibung der RM-Szenariotypen verweisen wir auf: (Wolfsteiner & Wittmann, 2021a).

Szenariotyp	Verlauf der jährlichen Reduktionssätze (siehe Abb. 1)		Mathematische Modellierung der Reduktionssätze	Verlauf der jährlichen Reduktionsbeträge	Verlauf der Emissionspfade (siehe Abb. 2)
RM-1-const	konstant		$y = \text{konstant}$	konkav	konvex
RM-3-lin	linear		$y = ax + b$	u-förmig	s-förmig (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)

⁹ Da RM-2-exp in den Ergebnissen nahezu äquivalent zu RM-4-quadr ist (vgl. Wiegand, et al., 2021), wird RM-2 in diesem Papier nicht miteinbezogen.

¹⁰ 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., 2021c).

¹¹ „Anstieg“ bezieht sich hier auf den Absolutbetrag der Reduktionssätze.

(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 realistischer Basis festgelegt werden kann.

Bei den folgenden exemplarischen Emissionszielen für Deutschland wurde dabei ein Veränderungssatz für 2020 von -5,5% unterstellt. Dieser entspricht dem Ist-Reduktionssatz des Jahres 2019 (vgl. EEA, 2021). Aufgrund des temporären Corona-Effekts in 2020 wäre es nicht sinnvoll, einen geschätzten tatsächlichen Veränderungssatz für 2020 zu verwenden.¹²

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 in den 2040er Jahren 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 nicht die idealtypischen Verläufe der RM-Szenariotypen 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.

Abb. 1 und Abb. 2 zeigen exemplarisch die sich ergebenden jährlichen Reduktionssätze und Emissionspfade für Deutschland bei einem verbleibenden globalen CO₂-Budget ab 2020 von 500 Mrd. t und einer Gewichtung der Bevölkerung mit 50%.¹⁴

¹² Laut EDGAR, einer Datenbank der EU für alle Länder der Welt, sind die Emissionen der EU aufgrund der Nutzung fossiler Brennstoffe und der Zementherstellung ohne internationale Luft- und Schifffahrt in 2020 um 9,3% gegenüber dem Vorjahr gesunken (vgl. EDGAR, 2021). Die gesamten CO₂-Emissionen Deutschlands laut Europäischer Umweltagentur, die hier für die Berechnung der exemplarischen Emissionsziele herangezogen werden, sind zum jetzigen Zeitpunkt für 2020 noch nicht verfügbar (EEA, 2021).

¹³ Es ist auch möglich, für den Emissionspfad direkt eine bestimmte Funktion zu verwenden (vgl. Wittmann, 2021, Kapitel 3.2). Mathematisch ist dieses Vorgehen jedoch nicht einfacher.

¹⁴ Der konstante jährliche Reduktionssatz in RM-1 beträgt hier -9%. Der konstante jährliche Reduktionsbetrag im Szenariotyp RM-6 beträgt -0,03 Mrd. t.

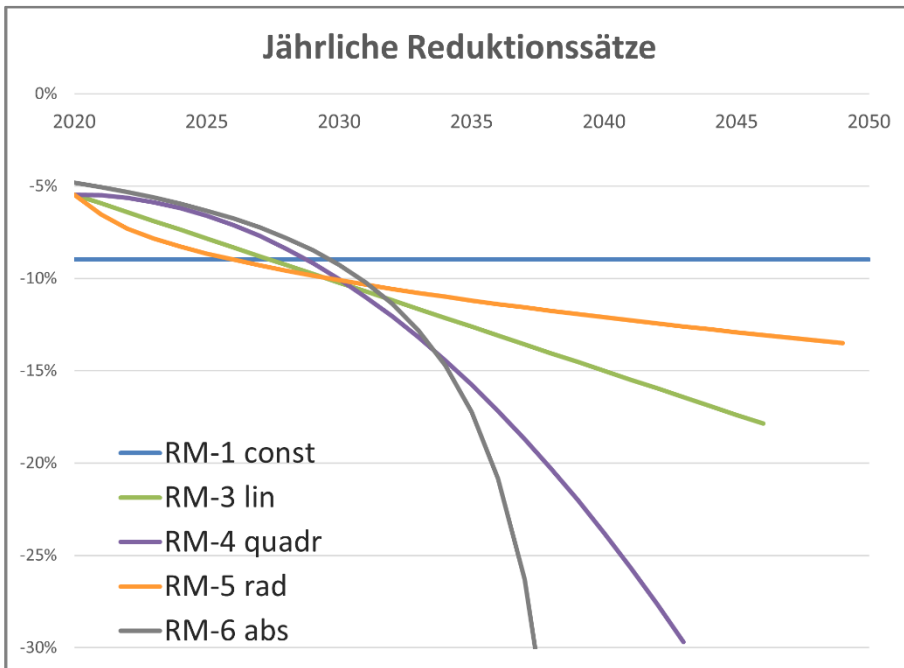


Abb. 1: Exemplarische jährliche Reduktionssätze Deutschland

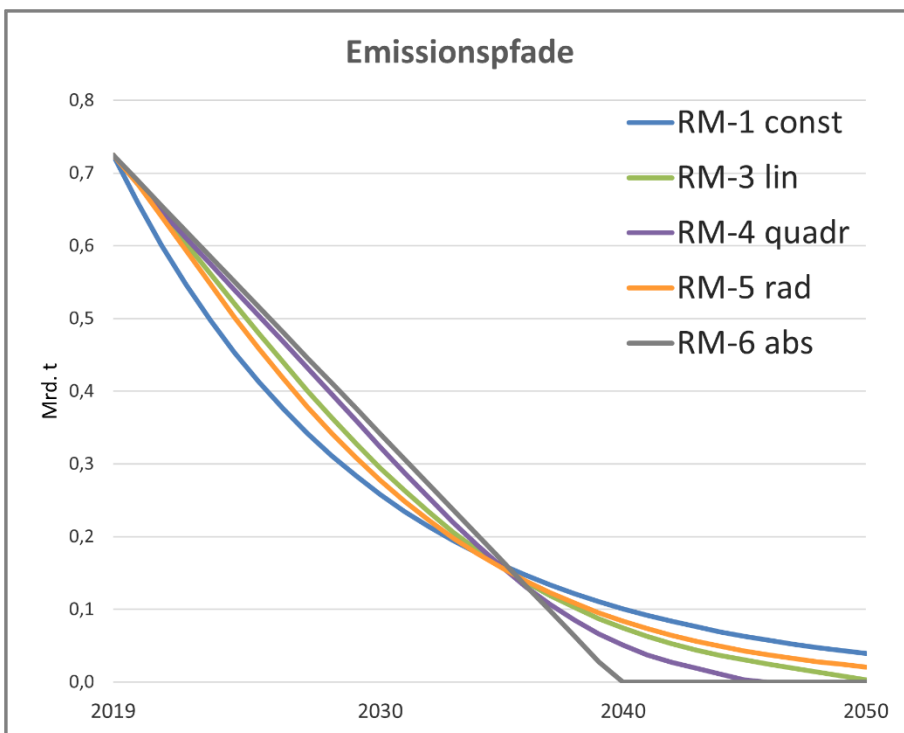


Abb. 2: Exemplarische Emissionspfade für Deutschland

Szenariotypen aus einer klimapolitischen Gesamtschau

Wir halten es für notwendig, einen wissenschaftlich basierten Diskurses 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). Wie die Abb. 1 und Abb. 2 zeigen, entsprechen die Szenariotypen RM-3-lin und RM-5-rad grundsätzlich diesen Empfehlungen des SRU. Die Kritik an einem linearen Reduktionspfad (RM-6-abs) des SRU kann dagegen auch auf RM-4-quadr zutreffen (insbesondere, wenn das Budget nicht zu knapp ist). Emissionspfade mit später stark ansteigenden jährlichen Reduktionsraten setzen voraus, dass die eingesetzten Klimaschutzinstrumente und die da-

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:

“Als intertemporale Freiheitssicherung schützen die Grundrechte die Beschwerdeführenden (...) vor einer umfassenden Freiheitsgefährdung durch einseitige Verlagerung der durch Art. 20a GG aufgegebenen Treibhausgaserminderungslast 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“ (BVerfG, 2021).

Die RM-Szenariotypen erlauben eine Operationalisierung dieser Fragestellung.

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

hinterstehende Klimapolitik eine sehr hohe Glaubwürdigkeit aufweisen, so dass die Wirtschaftsakteure tatsächlich die notwendigen hohen Reduzierungen in der Zukunft antizipieren. Diese Glaubwürdigkeit zu erreichen, würden eine große Herausforderung darstellen.

Exemplarische Emissionsziele für Deutschland

Für die folgenden exemplarischen Emissionsziele für Deutschland wird ein verbleibendes globales CO₂-Budget ab 2020 von 500 Mrd. t zu Grunde gelegt. Dies orientiert sich damit an der 1,5°C-Grenze mit einer Einhaltungswahrscheinlichkeit von 50% (siehe Tab. 1). Damit ergeben sich folgende exemplarische verbleibenden CO₂-Budgets für Deutschland ab 2020:¹⁷

Gewichtung Bevölkerung	100%	50%	0%
Verbleibendes CO ₂ -Budget Deutschland ab 2020 in Mrd. t	5,4	7,2	8,9

Tab. 3: Exemplarische CO₂-Budgets für Deutschland bei einem globalen Budget von 500 Mrd. t¹⁸

Tab. 4 zeigt exemplarische Emissionsziele für Deutschland bei einer Gewichtung der Bevölkerung mit 50%:

Szenariotyp	RM-1-const	RM-3-lin	RM-4-quadr	RM-5-rad	RM-6-abs
Zieljahr	Reduktionssätze gegenüber den Emissionen im Referenzjahr 1990				
(2019)	-34% (Ist-Wert)				
2025	-62%	-56%	-54%	-58%	-53%
2030	-76%	-73%	-70%	-75%	-69%
2035	-85%	-86%	-86%	-86%	-85%
2040	-91%	-93%	-95%	-92%	-100%
2045	-94%	-97%	-100%	-96%	-100%
2050	-96%	-100%	-100%	-98%	-100%
Jahr CO ₂ -Neutralität	2062	2050	2045	2055	2039

Tab. 4: Exemplarische Emissionsziele für Deutschland – globales Budget 500 Mrd. t / Bevölkerung 50%

Bei den hier unterlegten Rahmendaten müsste Deutschland z. B. im Szenariotyp RM-6-abs seine Emissionen bis 2030 um 69% gegenüber 1990 senken und bereits in 2039 CO₂-Neutralität erreichen. RM-4 zeigt beispielhaft, dass etwas mehr Ambition am Anfang ein späteres Erreichen der CO₂-Neutralität erlaubt.

¹⁷ Berechnungsgrundlagen der Budgets für Deutschland:

Laut der Europäischen Umweltagentur (EEA) beliefen sich die gesamten CO₂-Emissionen (einschließlich „international transport“ und LULUCF) für Deutschland in 2019 auf 0,725 Mrd. t (EEA, 2021). Gemäß Global Carbon Project (GCP) beliefen sich die globalen CO₂-Emissionen in 2019 auf rund 41 Mrd. t (GCP, 2021). Damit hatte Deutschland in 2019 einen Anteil an den globalen Emissionen von 1,9%. Deutschland hat einen Anteil von 1,1% an der globalen Bevölkerung (UN, 2019). Die analogen Emissionen betragen 1990 für Deutschland 1,093 Mrd. t.

¹⁸ Zeitpunkt Aufteilung eines globalen CO₂-Budgets:

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 ab 2016 aus, da 2015 das Pariser Klimaabkommen verabschiedet wurde (vgl. SRU, 2020). In der Logik des SRU ergäbe sich für Deutschland ab 2020 ein verbleibendes CO₂-Budget aufgrund der aktuellen Zahlen von 4,1 Mrd. t bei einem globalen Budget ab 2020 von 500 Mrd. t und 5,7 Mrd. t bei einem globalen Budget von 650 Mrd. t (vgl. Wolfsteiner & Wittmann, 2021c, Register 'GER').

Implizites deutsches Treibhausgasbudget:

Aus dem nachgebesserten Klimaschutzgesetz 2021 lässt sich näherungsweise ein Budget für alle Treibhausgase von gut 10 Mrd. t CO₂eq von 2020 – 2045 ableiten. Der Anteil der CO₂-Emissionen lässt sich mangels näherer Angaben im Zeitverlauf nicht ableiten (der Anteil betrug in 2019 rund 88%).

In unseren Tools (s. a. Kapitel: „Tools zum ESPM“) können u. a. andere globale Budgets, Gewichtungen der Bevölkerung und Potentiale für Netto-Negativ-Emissionen vorgegeben werden. Außerdem kann in unseren Excel-Tools ein temporärer Corona-Effekt berücksichtigt werden.

Schlussfolgerungen

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

Daher schlagen wir folgende politische Agenda vor:

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

Deutschland hat nach dem Urteil des Bundesverfassungsgerichts seine Ziele auf -65% bis 2030 gegenüber 1990 und Klimaneutralität bis 2045 angehoben. Diese Ziele beziehen sich auf alle Treibhausgase. Aufgrund der Budgeteigenschaft von CO₂ sollte Deutschland parallel sich an einem verbleibenden nationalen CO₂-Budget orientieren, das von einem global verbleibenden CO₂-Budget abgeleitet wird und seine Ziele auf dieser Grundlage überprüfen. Deutschland sollte sich dafür einsetzen, dass ein solch verbleibendes CO₂-Budget auch für die EU beschlossen wird.

Tools zum ESPM

- **Webanwendungen**
 - Unter <http://eu.climate-calculator.info> bieten wir eine Webanwendung für die EU an.
 - Unter <http://espm.climate-calculator.info> bieten wir ein universell anwendbare Webanwendung an. Das einzuhaltende Budget muss hier jedoch bekannt sein.
 - Hier eine Übersicht zu den Webanwendungen: <http://climate-calculator.info/>.
- Auf unserer Webseite <http://www.save-the-climate.info> stellen wir außerdem **Excel-Tools** zur Verfügung, mit denen für jedes Land der Welt Referenzwerte mit dem ESPM-Ansatz berechnet werden können.
 - Zur Berechnung der exemplarischen Emissionsziele für Deutschland in diesem Arbeitspapier wurde das universell anwendbare Tool ‚Paths_RM_ST‘ (Version: 39.0) verwendet (Wolfsteiner & Wittmann, 2021c), das auch auf [Zenodo](#) veröffentlicht wurde. Die Ergebnisse können grundsätzlich auch mit der Webanwendung <http://espm.climate-calculator.info/> nachvollzogen werden. Aufgrund eines etwas anderen iterativen Lösungsverfahrens und weniger Eingabemöglichkeiten, können die Ergebnisse leicht variieren.
 - Das Excel-Tool ‚ESPM‘ enthält eine Datenbank mit den Emissionsdaten aller Länder der Welt auf der Basis fossiler Emissionen und Zementherstellung (Wolfsteiner & Wittmann, 2021b). Mit diesem Tool können daher Paris-kompatible Emissionspfade für alle Länder der Welt ermittelt werden. Das Tool haben wir auch auf [Zenodo](#) veröffentlicht.

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].

EDGAR, 2021. *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 15 10 2021].

EEA, 2021. *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 2021].

GCP, 2021. *Global Carbon Project*. [Online]

Available at: <https://www.globalcarbonproject.org/>

[Accessed 12 11 2021].

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/>

MCC, 2020. *Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change*. [Online]

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

[Accessed 21 12 2020].

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. et al., 2021a (update). *Berechnung Paris-kompatibler Emissionspfade mit dem ESPM am Beispiel der EU*.

[Online]

Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5075642>

Sargl, M., Wiegand, D., Wittmann, G. & Wolfsteiner, A., 2021b (update). *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., 2021b. 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., 2021c. *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>

UN, 2019. *World Population Prospects 2019*. [Online]

Available at: <https://population.un.org/wpp/>

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, 2021. *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*, 20 2, pp. 127 - 133.

Wittmann, G., 2021. *Resource Sharing Models – A Mathematical Description*. [Online]

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

Wolfsteiner, A. & Wittmann, G., 2021a. *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., 2021b. *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., 2021c. *Tool for the Calculation of Paris-compatible Global Emission Paths with the RM Scenario Types*. [Online]

Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4584562>