

Wiegand, Daniel; Sargl, Manfred; Doerenbruch, Kerstin; Wittmann, Günter;
Wolfsteiner, Andreas

Article

Berechnung Paris-kompatibler Emissionspfade mit dem ESP-Modell am Beispiel der EU

Wirtschaftsdienst

Suggested Citation: Wiegand, Daniel; Sargl, Manfred; Doerenbruch, Kerstin; Wittmann, Günter; Wolfsteiner, Andreas (2021) : Berechnung Paris-kompatibler Emissionspfade mit dem ESP-Modell am Beispiel der EU, Wirtschaftsdienst, ISSN 1613-978X, Springer, Heidelberg, Vol. 101, Iss. 2, pp. 127-133,
<https://doi.org/10.1007/s10273-021-2854-0>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/231917>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Daniel Wiegand, Manfred Sargl, Kerstin Doerenbruch, Günter Wittmann, Andreas Wolfsteiner

Berechnung Paris-kompatibler Emissionspfade mit dem ESP-Modell am Beispiel der EU

Das hier betrachtete Extended Smooth Pathway Model bietet einen Rahmen, um mit dem Pariser Klimaabkommen kompatible nationale Emissionspfade herzuleiten. Am Beispiel Europa werden exemplarische Emissionsziele gezeigt.

CO₂ reichert sich in der Atmosphäre an. Daher ist die Summe an CO₂-Emissionen entscheidend für die Einhaltung bestimmter Grenzen der Erderwärmung. Das ist die naturwissenschaftliche Grundlage für die Forderung von z.B. Fridays for Future, dass sich nationale Emissionspfade an einem verbleibenden globalen CO₂-Budget orientieren sollten. Dabei stellen sich jedoch folgende Fragen: An welchem globalen CO₂-Budget und an welcher Aufteilung dieses Budgets sollen sich Staaten bei ihren national festgelegten Beiträgen (NDC) orientieren?¹ Wie kann ein daraus resultierendes nationales CO₂-Budget in einen nationalen Emissionspfad übersetzt werden? Nach der Entscheidung des Europäischen Rats im Dezember 2020, das Emissionsziel für 2030 auf 55 % anzuheben, stellt sich für die EU zudem die Frage, was dieser Schritt für Paris-kompatible Emissionsziele nach 2030 bedeutet. Das hier präsentierte Extended Smooth Pathway Model (ESPM) bietet einen Rahmen, um diese Fragen beantworten zu können.

Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), auch als Weltklimarat bekannt, hat in seinem Sonderbericht 2018 verbleibende globale CO₂-Budgets veröffentlicht (vgl. Tabelle 1). In der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger:innen führt der IPCC dazu aus: "C.1.3 Limiting global warming requires limiting the total cumulative global anthropogenic emissions of CO₂ since the pre-industrial period, that is, staying within a total carbon budget (high confidence). (...) The associated remaining budget is being depleted by current emissions of 42 ± 3 GtCO₂ per

year (high confidence). (...) Using global mean surface air temperature (...) gives an estimate of the remaining carbon budget [from 2018] of 580 GtCO₂ for a 50 % probability of limiting warming to 1.5° C, and 420 GtCO₂ for a 66 % probability (medium confidence). (...) Uncertainties in the size of these estimated remaining carbon budgets are substantial and depend on several factors. (...)" (IPCC, 2018b, 14).²

Die Notwendigkeit der Bewertung gesellschaftlicher Folgen, die angegebenen Wahrscheinlichkeiten und Bandbreiten machen deutlich, dass die Entscheidung über ein globales CO₂-Budget, an dem sich NDC bzw. nationale Emissionspfade orientieren, letztlich eine politische sein muss. Wenn die Vertragsstaaten bei ihren NDC ein dahinterstehendes globales CO₂-Budget transparent machen, könnte dies einen Diskurs in Gang setzen, der zu konvergierenden Orientierungsgrößen beim globalen CO₂-Budget führt.

Das Extended Smooth Pathway Model

Das ESPM besteht aus zwei Schritten: Im ersten werden nationale Budgets bestimmt; im zweiten werden von die-

² Die Deutsche Koordinierungsstelle des IPCC stellt eine deutsche Übersetzung zur Verfügung: www.de-ipcc.de

© Der/die Autor:in(nen) 2021. Open Access: Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht (creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de).

Open Access wird durch die ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft gefördert.

¹ Das Konzept der Nationally Determined Contributions (NDC) 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. Spätestens bis Ende 2020 sollten alle Vertragsstaaten ihre Ziele für das Jahr 2030 nachschärfen und Langfristpläne für ihre klimaneutrale Entwicklung im Rahmen nachgebesselter NDC vorlegen (BMU, 2019). Die EU hat am 17.12.2020 ein neues NDC eingereicht, das die Anhebung des EU-Ziels für 2030 auf -55 % und das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 enthält (UNFCCC, 2020).

Daniel Wiegand ist Doktorand an der Hochschule für Philosophie München.

Prof. Dr. Manfred Sargl lehrt Finanzwirtschaft und Controlling an der Universität der Bundeswehr München.

Kerstin Doerenbruch ist Dozentin an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin.

Günter Wittmann und Andreas Wolfsteiner, Regensburg.

Tabelle 1
Verbleibende globale CO₂-Budgets ab 2018

Ungefähre Erwärmung gegenüber 1850 bis 1900	Verbleibende CO ₂ -Budgets ab 2018		Erdsystem-Rückkopplungen	Schlüsselunsicherheiten und Variationen				
	50 %	67 %		Nicht-CO ₂ -Szenariovariation	Strahlungsantrieb durch Nicht-CO ₂ und Klimareaktion darauf	Vorübergehende Reaktion des Klimas auf kumulative CO ₂ -Emissionen	historische Temperaturen	jüngere Emissionen
Einhaltungswahrscheinlichkeiten ^a	°C	Mrd. t	Mrd. t	Mrd. t	Mrd. t	Mrd. t	Mrd. t	Mrd. t
	~ 1,50	580	420	±250	-400 bis +200	+100 bis +200	±250	±20
	~ 1,57	710	530	Budgets auf der linken Seite reduzieren sich über Jahrhunderte um etwa 100				
	~ 1,60	770	570					
	~ 1,67	900	680					
	~ 1,75	1.040	800					

^a Die angegebenen Wahrscheinlichkeiten beziehen sich darauf, in wie viel Prozent der untersuchten Szenarien das Temperaturziel eingehalten wurde (MCC, 2020).

Quelle: Basierend auf Tabelle 2.2 des IPCC (2018a, 108).

sen Budgets plausible nationale Emissionspfade abgeleitet. Diese Vorgehensweise ist von Raupach et al. (2014) inspiriert. In Konvergenzmodellen wird dagegen ein globaler Pfad auf Länder aufgeteilt (Sargl et al., 2017 oder Sargl et al., 2015).³

Bestimmung nationaler Budgets

Es sind viele Kriterien denkbar, um nationale Budgets von einem globalen Budget abzuleiten. Peters et al. (2015, 3) 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.“ Daher verwenden wir folgenden gewichteten Verteilungsschlüssel, der je nach Gewichtung alle Kombinationen der beiden Kriterien abbilden kann:⁴

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

Dabei sind:

E_{BY} bzw. E_{BY}^i globale Emissionen bzw. Emissionen des Landes i im Basisjahr; hier: $BY = 2018$ ⁵

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

- 3 Unter eu.climate-calculator.info bieten wir eine Webanwendung für die EU an. Auf unserer Webseite save-the-climate.info stellen wir außerdem Excel-Tools zur Verfügung, mit denen für jedes Land der Welt Referenzwerte mit dem ESPM berechnet werden können.
- 4 Andere Ansätze zur Ermittlung eines nationalen Budgets lassen sich ebenfalls ins ESPM integrieren
- 5 Derzeit liegen Ist-Zahlen bis 2018 der EEA (2020) vor.

B globales CO₂-Budget; hier für den Zeitraum: 2020 bis 2100⁶

B^i CO₂-Budget des Landes i ; hier für den Zeitraum: 2020 bis 2100

C Gewichtung der Bevölkerung; hier ab 2020

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: $2 * B^i / E_{BY}^i$ (z. B. SRU, 2020).

2. Konstanter jährlicher Reduktionssatz

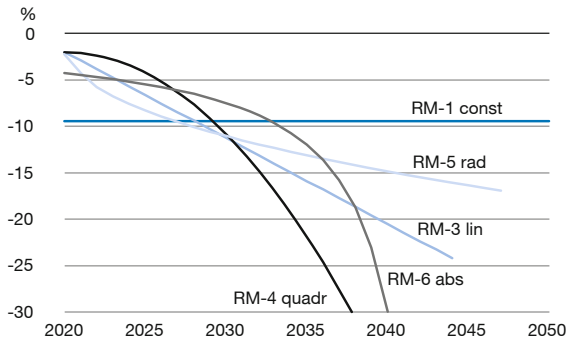
Dabei wird iterativ berechnet, mit welchem konstanten jährlichen Reduktionssatz das vorgegebene Budget bzw. Klimaziel eingehalten werden kann (z. B. UNEP, 2019).

Diese Herangehensweisen haben zwei entscheidende Nachteile:

1. Es können keine Netto-Negativ-Emissionen (NNE) abgebildet werden. NNE ergeben sich, wenn die ne-

⁶ Wir haben als Ende des Budgetzeitraums 2100 gewählt, da sich auch die Ziele zur Begrenzung der Erderwärmung auf 2100 beziehen. Die verbleibenden Budgets laut Tabelle 1 beziehen sich dagegen nicht auf einen begrenzten Zeitraum.

Abbildung 1
Exemplarische jährliche Reduktionssätze der EU



Quelle: eigene Berechnungen.

gativen CO₂-Emissionen größer sind als die positiven CO₂-Emissionen und gehen damit über Netto-Null-Emissionen hinaus.⁷

2. Aus einer klimapolitischen Gesamtschau heraus können andere Verläufe der Emissionspfade und insbesondere der jährlichen Reduktionssätze sinnvoller sein.

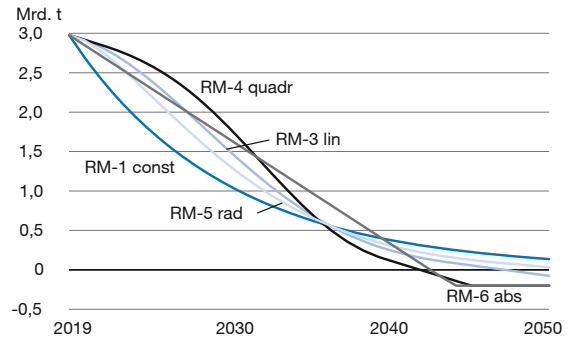
Das ESPM bietet sechs idealtypische Szenariotypen an, die auch NNE abbilden können. Um NNE abzubilden, wird kurz vor Erreichung von Netto-Null-Emissionen auch bei den Szenariotypen RM 1 bis 5 auf einen linearen Emissionspfad umgestellt. Eine umfassende mathematische Beschreibung der RM-Szenariotypen kann unter der Adresse save-the-climate.info heruntergeladen werden. Dabei unterscheiden sich die Szenariotypen RM 1 bis 5 in der Annahme über den Verlauf der jährlichen Reduktionssätze. Die Emissionspfade ergeben sich bei diesen Szenariotypen indirekt über die Bestimmung der jährlichen Reduktionssätze. RM 6 entspricht einem linearen Reduktionspfad.

In Bezug auf den Anstieg (Absolutbetrag) der jährlichen Reduktionssätze bei monotonem Verlauf können folgende vier Grundtypen unterschieden werden (vgl. Abbildung 1):

- konstanter jährlicher Reduktionssatz (RM-1-const),
- linearer Anstieg (RM-3-lin),

7 Klimaneutralität bedeutet Netto-Null-Emissionen über alle Treibhausgase hinweg in CO₂-Äquivalenten (CO₂eq). Folgende Möglichkeiten werden unter anderem diskutiert, um negative CO₂-Emissionen zu realisieren: a) Geologische Speicherung von CO₂, das vorher bei der Verbrennung von Biomasse abgetrennt (BECCS), direkt aus der Luft gefiltert (DACCS) oder durch Pyrolyse von Biomasse gebunden (PyCCS) wurde. b) Erhöhung der globalen Biomasse z.B. durch Aufforstung, Umwandlung von Ackerland zu Grünland oder mehr Humusbildung. c) Mineralische Bindung von CO₂ durch Verwitterung von Basaltgestein, das auf Felder ausgebracht wird.

Abbildung 2
Exemplarische EU-Emissionspfade



Quelle: eigene Berechnungen.

- anfangs unterproportionaler Anstieg (RM-2-exp, RM-4-quadr, RM-6-abs),
- anfangs überproportionaler Anstieg (RM-5-rad).

Charakterisierung der Szenariotypen RM 1 bis 6

Der Szenariotyp RM-1-const liefert mit dem konstanten jährlichen Reduktionssatz einen wertvollen Hinweis auf die Größe der Herausforderung. Für die politische Bestimmung eines Emissionspfads ist er nicht geeignet, wenn der sich ergebende Reduktionssatz insbesondere am Anfang als unrealistisch eingeschätzt wird. RM-6-abs hat (wie auch RM 1) den Nachteil, dass der anfängliche Reduktionssatz nicht vorgegeben werden kann, sondern sich endogen ergibt. Bei RM 2 bis 5 hingegen ist der Startreduktionssatz des Jahres 2020 ein frei zu wählender Parameter.⁸ Bei den Szenariotypen RM-2-exp, RM-4-quadr und RM-6-abs sind relativ schnell NNE notwendig, da die Reduktionssätze anfangs nur langsam steigen. Daraus resultiert ein relativ hoher Mengen-Overshoot (vgl. Kasten 1). In abgeschwächter Form gilt dies auch für den Szenariotyp RM-3-lin (vgl. Tabelle 2). Der Szenariotyp RM-5-rad (mathematischer Basistyp: \sqrt{x}) ist durch anfangs relativ schnell steigende jährliche Reduktionssätze gekennzeichnet, womit der Umfang an notwendigen NNE geringer ist bzw. die Reduktionssätze in den 2040er Jahren weniger drastisch steigen müssen.

RM-2-exp und RM-4-quadr zeigen, dass sich die Emissionspfade bei einem knappen Budget trotz unterschiedlicher Funktionen (mathematische Basistypen: RM 2: e^x , RM 4: x^2) nur unwesentlich unterscheiden, wenn die Funktionen

8 Bei den folgenden exemplarischen Emissionszielen wurde ein Reduktionssatz für 2020 von rund 2 % unterstellt. Dieser orientiert sich am Reduktionssatz 2018, dem derzeit letzten aktuellen Wert laut EEA (2020).

Tabelle 2
Exemplarische Emissionsziele für die EU

Szenariotyp	RM-1-const	RM-2-exp	RM-3-lin	RM-4-quadr	RM-5-rad	RM-6-abs
Overshoot (Σ NNE)	6,1 Mrd. t	11,6 Mrd. t	9,9 Mrd. t	11,4 Mrd. t	8,6 Mrd. t	11,5 Mrd. t
Zieljahr	Reduktionssätze gegenüber den Emissionen im Referenzjahr 1990 (in %)					
2030	-73	-55	-63	-55	-67	-58
2035	-84	-81	-82	-83	-83	-75
2040	-90	-98	-94	-97	-92	-92
2050	-96	-105	-102	-105	-99	-105
Jahr CO ₂ -Neutralität	2061	2041	2047	2041	2052	2042

Quelle: eigene Berechnungen.

dem gleichen Grundtypus zuzurechnen sind und den gleichen Startreduktionssatz aufweisen (vgl. hierzu Tabelle 2).

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. Die Szenariotypen sollen auch nicht der Prognose dienen, sondern helfen, anstehende politische Entscheidungen vorzubereiten und zu fundieren. Das ESPM ist offen für weitere Szenariotypen. Die hier vorgestellten idealtypischen Szenariotypen sollten aber die Bandbreite der plausiblen Möglichkeiten gut abdecken.⁹

⁹ Es ist auch möglich, für den Emissionspfad direkt eine bestimmte Funktion zu verwenden (Wittmann, 2019, 20). Dabei wäre zu prüfen, ob die resultierenden Verläufe der jährlichen Reduktionssätze plausibel sind und dieses Vorgehen mathematisch einfacher ist.

Kasten 1

Definition Mengen-Overshoot

Mengen-Overshoot bedeutet im ESPM ein zeitweises Überschreiten eines vorher festgelegten CO₂-Budgets. Diese überschießende Menge wird durch Netto-Negativ-Emissionen (NNE) bis 2100 ausgeglichen. Das Potenzial für NNE – und damit auch für den Mengen-Overshoot – wird durch die Vorgabe des Minimums der jährlichen Emissionen (E_{min}) festgelegt. Ob ein konkreter Mengen-Overshoot mit der angestrebten Begrenzung der Erwärmung bis 2100 kompatibel ist, muss naturwissenschaftlich überprüft werden. Dabei spielen insbesondere Kippunkte im Klimasystem eine Rolle (PIK, 2018). Zur Abgrenzung: Beim IPCC bezeichnet ein Temperatur-Overshoot die zeitweise Überschreitung eines bestimmten Niveaus globaler Erwärmung (IPCC, 2018b, 24).

Szenariotypen aus klimapolitischer Gesamtschau

Wir halten es für notwendig, eines wissenschaftlich basierten Diskurs darüber zu forcieren, welcher Verlauf der jährlichen Reduktionssätze klimapolitisch sinnvoll ist. Dabei können folgende Fragen eine Rolle spielen:

1. Welche Reduktionssätze sind wann realistisch?
2. Implizieren anfänglich niedrige Reduktionssätze eine nicht vertretbare Hypothek für die Zukunft, da diese später sehr hohe Reduktionssätze erfordern?
3. Oder sind hohe spätere Reduktionssätze sogar sinnvoll, weil dadurch ein größerer zeitlicher Vorlauf für die notwendigen Investitionen besteht? Die notwendigen Investitionen könnten damit zumindest teilweise im Rahmen normaler Investitionszyklen vonstattengehen.
4. Vermitteln anfangs schnell steigende Reduktionssätze eine glaubwürdigere Klimaschutzpolitik, die Planungssicherheit für öffentliche und private Investitionen in eine fossilfreie Zukunft schafft?

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) empfiehlt, „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, 56). Die Szenariotypen RM-3-lin und RM-5-rad entsprechen weitgehend diesen Empfehlungen des SRU. Im Vergleich zu anderen Ansätzen zur Bestimmung von Emissionspfaden (für einen Überblick: O’Neill et al., 2020), geht das ESPM von einer politischen Entscheidung über einen Emissionspfad aus, welche auch soziale, ökonomische und politische Aspekte berücksichtigt.

Exemplarische Emissionsziele für die EU

Den exemplarischen Emissionszielen für die EU liegen folgende Rahmendaten zugrunde:

- Das globale CO₂-Budget 2018 bis 2100 beträgt 420 Mrd. t und orientiert sich damit an der 1,5°C-Grenze mit einer Wahrscheinlichkeit von 67 % (vgl. Tabelle 1).
- Gewichtung der Bevölkerung ab 2020: 50 %.¹⁰
- Daraus ergibt sich ein CO₂-Budget für die EU 2020 bis 2100 von 21,8 Mrd. t. Berechnung: Laut Europäischer Umweltagentur (EEA, 2020) beliefen sich die gesamten CO₂-Emissionen (einschließlich „international transport“ und Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) der EU27 im Jahr 2018 auf 3,04 Mrd. t. Gemäß Global Carbon Project (GCP, 2019) beliefen sich die globalen CO₂-Emissionen 2018 auf 42,1 Mrd. t. Damit hatte die EU27 in 2018 einen Anteil an den globalen Emissionen von 7,2 %. Die EU27 hat einen Anteil von 5,8 % an der globalen Bevölkerung (UN, 2019). Damit ergibt sich ein gewichteter Verteilungsschlüssel von 6,5 % bei einer Gewichtung der Bevölkerung mit 50 %. Für die Jahre 2018 und 2019 wurden $2 \cdot 42,1 = 84,2$ Mrd. t vom globalen Budget ab 2018 abgezogen. Für 2019 wurde eine Reduktion der EU-Emissionen von 2 % unterstellt.
- 8 % der derzeitigen Emissionen der EU werden als maximal mögliche jährliche NNE angenommen ($E_{\min} = -0,2$ Mrd. t). Orientieren sich alle Länder am globalen Wert bei NNE und beziehen diesen auf ihre aktuellen Emissionen, könnte dahinter der Ansatz stehen, dass globale NNE von den einzelnen Ländern im Verhältnis ihrer heutigen Emissionen zu den heutigen globalen Emissionen realisiert bzw. finanziert werden sollten.

Das vorzuziehende Potenzial für NNE im ESPM wirkt sich entscheidend auf die notwendigen Emissionsziele aus. Allerdings ist die Unsicherheit über dieses Potenzial noch groß. Der SRU (2020) ist daher z. B. sehr skeptisch gegenüber der Berücksichtigung von Negativ-Emissionen bei der Berechnung von Emissionszielen. Die in diesen exemplarischen Rahmendaten angesetzten 8 % orientieren sich am illustrativen globalen 1,5°C-Emissionspfad P1 des IPCC Sonderbericht 2018, der ein Minimum von rund 3,5 Mrd. t aufweist (IPCC, 2018b, 15), was rund 8 % der heutigen globalen jährlichen CO₂-Emissionen in Höhe von 42,1 Mrd. t (GCP, 2019) entspricht. Die wei-

teren 1,5°C-Modellpfade P 2 bis 4 weisen noch höhere globale NNE auf.

Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen die sich bei diesen Rahmendaten ergebenden jährlichen Reduktionssätze und Emissionspfade für die EU. Der konstante Reduktionssatz in RM 1 beträgt hier 9,5 %, und der konstante Reduktionsbetrag im RM 6 beträgt 0,13 Mrd. t. RM 2 wurde zugunsten der Übersichtlichkeit weggelassen. Tabelle 2 gibt die resultierenden exemplarischen Emissionsziele für die EU und die jeweils erforderlichen NNE bei unterschiedlichen Szenariotypen wieder. Bei den hier unterlegten Rahmendaten müsste die EU im Szenariotyp RM-5-rad (hellblaue Spalte) ihre Emissionen bis 2030 um 67 % gegenüber 1990 senken, 2052 CO₂-Neutralität erreichen und einen Mengen-Overshoot bis 2100 von 8,6 Mrd. t realisieren. Wird von -55 % bis 2030 ausgegangen, müsste die EU CO₂-Neutralität bereits Anfang der 2040er Jahre erreichen und danach beträchtliche NNE realisieren (vgl. RM 2, 4 und 6). Der jeweils notwendige Mengen-Overshoot läge bei mehr als 50 % des EU-Budgets bis 2100 von 21,8 Mrd. t. Ob eine solche Größenordnung realisierbar ist, kann infrage gestellt werden.

Sensitivitätsanalyse

Eine Sensitivitätsanalyse ergibt folgende Ergebnisse (verwendeter Szenariotyp: RM-5-rad; hellblaue Spalten verweisen auf die Ergebnisse in Tabelle 2 zum Vergleich): Die Tatsache, dass die EU-Emissionen bis 2030 um 81 % gegenüber 1990 sinken müssten bei einem Potenzial für NNE von 0 % zeigt (vgl. Tabelle 3), dass die Orientierung an einem globalen CO₂-Budget von 420 Mrd. t ohne Berücksichtigung von NNE kaum mehr realistisch ist. Aus den Zahlen in Tabelle 4 ergibt sich, dass die Gewichtung der Bevölkerung bei der EU nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse hat, da die Pro-Kopf-Emissionen der EU (6,8 t) nicht allzu weit vom globalen Durchschnitt (5,5 t) entfernt sind. Anders sieht es z. B. für die USA aus, mit Pro-Kopf-Emissionen von rund 16 t. Tabelle 5 zeigt die Auswirkung eines temporären Corona-Effekts, wobei von einem linearen Abbau des Effekts auf null nach drei Jahren ausgegangen wird. 2020 wird ein zusätzlicher Corona-Effekt von -5 % bezogen auf die Emissionen 2019 unterstellt. Es zeigt sich, dass sich ein temporärer Corona-Effekt in dieser Größenordnung nur wenig auf die erforderlichen Reduktionsziele auswirkt.

Globales Budget und das 55%-Ziel der EU für 2030

Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass sich das in 2020 verabschiedete Reduktionsziel der EU von -55 % bis 2030 am ehesten mit den Szenariotypen RM-2-exp, RM-4-quadr oder RM-6-abs abbilden lässt. Damit hat sich die EU im-

¹⁰ Der SRU (2020) spricht sich z. B. für eine Gewichtung der Bevölkerung mit 100 % und eine Verteilung ab 2016 aus, da 2015 das Pariser Klimaabkommen verabschiedet wurde.

Tabelle 3
Sensitivitätsanalyse Netto-Negativ-Emissionen

in %			
Potenzial NNE	0	-4	-8
Reduktionssätze 2030 gegenüber 1990	-81	-72	-67

Quelle: eigene Berechnungen.

Tabelle 4
Sensitivitätsanalyse Gewichtung Bevölkerung

in %				
Gewichtung der Bevölkerung	Jahr	0	50	100
		2030	-65	-67
Reduktionssätze gegenüber 1990	2040	-90	-92	-94
	2050	-98	-99	-101

Quelle: eigene Berechnungen.

Tabelle 5
Sensitivitätsanalyse temporärer Corona-Effekt

in %			
Zusätzlicher temporärer Corona-Effekt	Jahr	0	-5
	2030	-67	-67
Reduktionssätze gegenüber 1990	2040	-92	-90
	2050	-99	-98

Quelle: eigene Berechnungen.

plizit für später stark ansteigende jährliche Reduktionssätze entschieden. Allerdings ist das EU-Ziel für 2030 nicht 1:1 mit den hier gezeigten Emissionszielen vergleichbar, da sich EU-Ziele auf alle Treibhausgase beziehen. Auch um die Spannweite der möglichen weiteren Zwischenziele aufzuzeigen, wird in Tabelle 6 gefragt, mit welchem globalen CO₂-Budget ein EU-CO₂-Reduktionsziel von 55 % bei NNE von 0 % korrespondiert. Es wird also im jeweiligen Szenariotyp geschaut, auf welche Höhe das globale Budget mindestens angehoben werden muss, um ein CO₂-55 %-Ziel für 2030 abbilden zu können.

Aus den Tabellen 2 und 6 ergibt sich, dass sich die EU, wenn sie sich an einem globalen CO₂-Budget orientiert, zwei Grundalternativen hat:

- Wenn sie sich an einem globalen Budget von 420 Mrd. t orientiert, das mit der Einhaltung der 1,5°C-Grenze mit einer Wahrscheinlichkeit von 67 % korrespondiert, dann muss sie bereits vor 2050 NNE und bis 2100 einen beträchtlichen Mengen-Overshoot realisieren (vgl. Tabelle 2).
- Orientiert sie sich an einem höheren globalen Budget, das mit einem höheren Temperaturanstieg korrespondiert (vgl. Tabelle 6 und Tabelle 1), dann sollte jedoch nicht gleichzeitig ein (hoher) Mengen-Overshoot

Tabelle 6
Globale Budgets – EU-2030-Ziel 55 % bei NNE von 0 %

in %			
Szenariotyp	RM-2-exp	RM-4-quadr	RM-6-abs
Globales CO ₂ -Budget 2018 bis 2100 (freier Parameter)	591 Mrd. t	597 Mrd. t	637 Mrd. t
EU-CO ₂ -Budget 2020 bis 2100	32,9 Mrd. t	33,3 Mrd. t	35,9 Mrd. t
Zieljahr	Reduktionssätze gegenüber Referenzjahr 1990		
2025	-34	-33	-40
2030 – fixierte Zielgröße:	-55	-55	-55
2035	-82	-83	-71
2040	-98	-97	-87
2050	-100	-100	-100
Jahr CO ₂ -Neutralität	2041	2043	2044

Quelle: eigene Berechnungen..

einkalkuliert werden. Wenn nämlich ein relativ hohes Budget und ein relativ hoher Mengen-Overshoot kombiniert werden, kumuliert sich das Risiko, Kippunkte im Klimasystem zu überschreiten. Wenn ein niedriges globales Budget gewählt wird, ist der Spielraum für einen Mengen-Overshoot grundsätzlich größer.

Der SRU schreibt zur Frage des verbleibenden globalen Budgets: „Zusammenfassend kann ein restliches globales CO₂-Budget, das sich auf die Begrenzung der Temperaturerhöhung auf maximal 1,5°C bezieht, gut begründet werden. Für eine 50 %ige Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung beläuft sich dieses auf 580 Gt CO₂ ab 2018. Für die Begrenzung der Erderwärmung auf 1,75°C mit einer 67 %-igen Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung beträgt es 800 Gt CO₂ ab dem Jahr 2018. Dieses kann als maximales Budget aus den Vorgaben des Pariser Klimaabkommens abgeleitet werden“ (SRU, 2020, 4).

Der IPCC gibt für die 2°C-Grenze bei einer Wahrscheinlichkeit von 67 % ein Budget von 1.170 Mrd. t an (IPCC, 2018a, 108). Dem SRU geht es bei maximal 800 Mrd. t darum, dass erstens im Pariser Abkommen eine deutliche Unterschreitung der 2°C-Grenze vereinbart wurde und dass zweitens eine Einhaltungswahrscheinlichkeit von nur 67 % bei der 2°C-Grenze nicht tragbar sei, da das Ziel einer deutlichen Unterschreitung auch eine relativ hohe Sicherheit impliziere, wofür 67 % nicht ausreichte.

Schlussfolgerungen

Es konnten hier nur exemplarische Emissionsziele für die EU gezeigt werden, da wichtige Rahmendaten letztendlich politisch 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 von Negativ-Emissionen betrifft.
- Auf dieser Basis nationale CO₂-Budgets und Reduktionsziele ableiten, die einer fairen und ökonomisch sinnvollen Aufteilung eines globalen CO₂-Budgets gerecht werden.
- Sich bei Emissionszwischenzielen an einem klimapolitisch sinnvollen Verlauf der jährlichen Reduktionsätze orientieren.
- Die Rahmendaten und Reduktionsziele regelmäßig auf der Basis neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse und technischer bzw. realer Entwicklungen nachsteuern.

Unabhängig von den konkret gewählten Rahmendaten, lassen die gezeigten exemplarischen Emissionsziele für die EU folgende Schlüsse zu: Die Anhebung des 2030er Ziels auf 55 % war ein politischer Erfolg, wobei das EU-Parlament mit guten Gründen eine Anhebung auf 60 % gefordert hat. Das 55 %-Ziel erfordert nun die Festlegung ambitionierter Zwischenziele für 2035 und 2040, damit in der Summe ein Paris-kompatibles EU-CO₂-Budget eingehalten werden kann. Die notwendigen Größenordnungen können mit dem ESPM ermittelt werden. Je ambitionierter das globale CO₂-Budget, umso nötiger sind Negativ-Emissionen, deren technische, wirtschaftliche und nachhaltige Realisierbarkeit derzeit noch unsicher ist. Negativ-Emissionen können in zweifacher Weise bei der Einhaltung von Klimazielen helfen. Sie können nicht vermeidbare Treibhausgasemissionen kompensieren, um Klimaneutralität zu erreichen, und sie können, bei einem entsprechenden Umfang, einen Mengen-Overshoot durch Netto-Negativ-Emissionen ausgleichen. Es sollte deshalb bereits heute, parallel zur ambitionierten Reduzierung von CO₂-Emissionen, intensiv in die Forschung, Erprobung und großskalige Realisierung von Negativ-Emissionen investiert werden, um schneller Klarheit über deren tatsächliches Potenzial zu erlangen. Das Einkalkulieren von hohen Negativ-Emissionen in späteren Jahren birgt angesichts der unklaren Realisierbarkeit die Gefahr, dass notwendige CO₂-Reduzierungen in den früheren Jahren unterlassen werden.

Literaturverzeichnis

- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) (2019), Hintergrundpapiere zum 10. Petersberger Klimadialog, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/ambitionsmechanismus_pariser_abkommen_bf.pdf (1. Juni 2020).
- EEA (European Environment Agency) (2020), EEA greenhouse gas – data viewer, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> (12. Oktober 2020).
- GCP (Global Carbon Project) (2019), Supplemental data of Global Carbon Budget 2019, <https://www.icos-cp.eu/global-carbon-budget-2019> (9. November 2020).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2018a), Special Report 1.5°C. Chapter 2: Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development, <https://www.ipcc.ch/sr15/> (1. März 2020).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2018b), Special Report 1.5°C. Summary for Policymakers, <https://www.ipcc.ch/sr15/> (1. März 2020).
- MCC (Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change) (2020), So schnell tickt die CO₂-Uhr, <https://www.mcc-berlin.net/forschung/co2-budget.html> (21. Dezember 2020).
- O'Neill, B. C., T. R. Carter, K. Ebi, P. A. Harrison, E. Kemp-Benedict, K. Kok, E. Kriegler, B. L. Preston, K. Riahi, J. Sillmann, B. J. van Ruijven, D. van Vuuren, D. Carlisle, C. Conde, J. Fuglestedt, C. Green, T. Hasegawa, J. Leisinger, S. Monteith und R. Pichs-Madruga (2020), Achievements and needs for the climate change, *Nature Climate Change*, 10, 1074-1084.
- Peters, G. P., R. M. Andrew, S. Solomon und P. Friedlingstein (2015), Measuring a fair and ambitious climate agreement using cumulative emissions, *Environmental Research Letters*, 10, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/10/105004> (1. Dezember 2019).
- PIK (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung) (2018), *Auf dem Weg in die „Heißzeit“? Planet könnte kritische Schwelle überschreiten*, <https://www.pik-potsdam.de/aktuelles/pressemitteilungen/auf-dem-weg-in-die-heisszeit-planet-koennte-kritische-schwelle-ueberschreiten> (6. August 2018).
- Raupach, M. R., S. J. Davis, G. P. Peters, R. M. Andrew, J. G. Canadell, P. Ciais, P. Friedlingstein, F. Jotzo, D. P. van Vuuren und C. le Quere (2014), Sharing a quota on cumulative carbon emissions, *Nature Climate Change*, 4, 873-879.
- Sargl, M., G. Wittmann und A. Wolfsteiner (2015), Mindestreferenzwerte für CO₂-Emissionen, *Wirtschaftsdienst*, 95(7), 494-498.
- Sargl, M., A. Wolfsteiner und G. Wittmann (2017), The Regensburg Model: reference values for the (I)NDCs based on converging per capita emissions, *Climate Policy*, 17(5), 664-677.
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2020), *Umweltgutachten 2020*, www.umweltrat.de (14. August 2020).
- UN (United Nations) (2019), *World Population Prospects 2019*, <https://population.un.org/wpp/> (15. September 2020).
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2019), *Emissions Gap Report 2019*, <https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2019> (15. Dezember 2020).
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2020), NDC of the EU, <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/pages/Party.aspx?party=EUU> (17. Dezember 2020).
- Wittmann, G. (2019), *Resource Sharing Models – A mathematical description*, www.save-the-climate.info (5. Januar 2021).

Title: Calculation of Paris-Compatible Emission Targets Using the Example of the EU

Abstract: The Extended Smooth Pathway Model presented here provides a framework for allocating a global CO₂ budget to countries and deriving national emission paths. Exemplary emission targets are shown for the EU. The derivation of Paris-compatible emission targets, however, requires science-based political decisions about the global budget, its distribution, the potential for future negative emissions and the course of national emission paths.

JEL Classification: Q54, Q58