

Stellungnahme von Expertinnen und Experten des CCCA zum Factsheet: „Kostenwahrheit CO₂“ des BMK

Kernteam (in alphabetischer Reihenfolge):

Hartmut Graßl, Mathias Kirchner (BOKU), Helga Kromp-Kolb (BOKU), Sigrid Stagl (WU Wien), Karl Steininger (Uni Graz)

Mitwirkende (in alphabetischer Reihenfolge):

Michael Getzner (TU Wien), Claudia Kettner-Marx (WIFO), Gottfried Kirchengast (Uni Graz), Angela Köppl (WIFO), Ina Meyer (WIFO), Mark Sommer (WIFO), Isabella Uhl-Hädicke (Uni Salzburg)

Inhalt

Kurzfassung.....	2
1 Konzepte der Kostenwahrheit	3
1.1 Einführung: Ansätze und Methoden.....	3
1.2 Schadenskosten - Social Costs of Carbon: Würdigung und Kritik.....	4
1.3 Vermeidungskosten - Mitigationsaufwand zur Erreichung der Pariser Ziele: Würdigung und Kritik.....	7
1.4 Zusammenfassung.....	9
1.5 Umfassender Ansatz.....	10
2 Spezieller Kontext, in dem das Factsheet bzw. unsere Kommentare dazu stehen.....	11
3 Empfehlungen	13
Literatur	14



Kurzfassung

Das CCCA wurde gebeten eine Stellungnahme zum Factsheet „Kostenwahrheit CO₂“ (Entwurfsversion 20.03.2020) des Bundesministeriums für Klimaschutz (BMK) abzugeben. Das BMK sucht im Sinne des Regierungsprogrammes Wege um Kostenwahrheit für CO₂-Emissionen herzustellen. Das BMK orientiert sich dabei an der „Methodenkonvention 3.0“ des deutschen Umweltbundesamtes. Expertinnen und Experten des CCCA schätzen den Versuch des BMK, Kostenwahrheit über Schadenskosten anzunähern, schlagen aber in Anbetracht der hohen Unsicherheiten dieser Methode (siehe Abschnitt 1.2) und des existenziellen Risikos des Klimawandels für die Menschheit einen alternativen Ansatz vor:

Das BMK sollte sich am für Österreich verbleibenden Kohlenstoffbudget orientieren, das mit dem Paris-Abkommen kompatibel ist, und einen flexiblen CO₂-Preispfad implementieren, der, unter ständiger Berücksichtigung seiner tatsächlichen Wirkung und seiner Wechselwirkung mit anderen essenziellen Klimaschutzinstrumenten und -maßnahmen, die Einhaltung des Kohlenstoffbudgets sicherstellt.

Zur Orientierung der Höhe des CO₂-Preispfades empfehlen wir das Heranziehen von Vermeidungskosten, d.h. den Preis so zu setzen, dass er die Kosten des Umstiegs für ausreichend viele Aktivitäten übertrifft, um die Erreichung des 1,5 °C Temperatur-Zieles im Paris-Abkommen zu gewährleisten (siehe Abschnitt 1.3). Für Österreich gibt es leider keine derartigen Berechnungen für das derzeitige Klimaziel Klimaneutralität 2040. Als kurzfristig verfügbare Ausgangsbasis wird vorgeschlagen in Anlehnung der Scientists for Future Empfehlung folgende Bandbreiten für einen CO₂-Preispfad heran zu ziehen, die sich zusätzlich zu schon bestehenden Abgaben und Steuern verstehen:

- Einstiegspreis von 50-160 €/tCO₂ der bis 2030 auf 130-400 €/tCO₂ gesteigert wird; oder
- ein Emissionshandels-Preiskorridor von 35-180 €/tCO₂ (2020) bzw. 70-450 €/tCO₂ (2030).

Die großen Risiken des Klimawandels und das Ziel Klimaneutralität 2040 verlangen beim Einstieg wohl schon höhere Mindestpreise als die oben angeführten Werte, die sich an einer erst späteren Treibhausgasneutralität orientierten (d.h. >50 €/tCO₂). Es wird daher empfohlen sobald wie möglich Berechnungen für die österreichischen Klimaziele machen zu lassen, um diese Zahlen im notwendigen Ausmaß zu korrigieren.

Es gilt aber auch: je mehr andere Klimaschutzmaßnahmen eingesetzt werden (z.B. Investitionsförderungen, Verbote), umso geringer kann der CO₂-Preispfad ausfallen. Daher ist ein Monitoring notwendig, das die Wirkung des CO₂-Preises und v.a. seine Wechselwirkung mit anderen Klimaschutzmaßnahmen jährlich überprüft und gegebenenfalls anpasst. Zudem gilt es sicherzustellen, dass (a) sowohl Lachgas- und Methanemissionen, (b) als auch Co-Benefits im Sinne der SDGs berücksichtigt werden und (c) die Einnahmen durch CO₂-Bepreisung insbesondere zur Vermeidung negativer Verteilungsaspekte wie auch zur gezielten Innovations-Anreizsetzung genutzt werden (siehe Abschnitt 1.5).

Darüber hinaus sollte angesichts der COVID19-verursachten Wirtschaftskrise unverzüglich eine wissenschaftsgetriebene Arbeitsgruppe eingesetzt werden, die sich mit den Möglichkeiten eines „reset“ bzw. den Erfordernissen eines umfassenderen Begriffes der Kostenwahrheit auseinandersetzt. Dabei sollten unterschiedliche Zeithorizonte der Maßnahmensetzung (und damit -empfehlung) berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 2).

1 Konzepte der Kostenwahrheit

1.1 Einführung: Ansätze und Methoden

Die im Factsheet angeführten Definitionen bzgl. externer Kosten und Schadenskosten folgen nicht ganz der üblichen Verwendung in der wissenschaftlichen Literatur. Der deutsche Begriff „Kostenwahrheit“ entspricht etwa den gleichbedeutenden englischsprachigen Fachtermini „true-cost pricing“ und „internalization of external costs“, denen beiden das Konzept der externen Kosten zu Grunde liegt. Unter externen Kosten werden in der (Umwelt-)Ökonomie Kosten verstanden, die entstehen, wenn Produktions- oder Konsumententscheidungen einen ungewollten negativen oder positiven Effekt auf andere AkteurInnen bewirken (vgl. Common und Stagl, 2005). Inwiefern das Fehlen einer Kompensationszahlung (o.ä.) im Sinne des Verursacherprinzips Teil der Definition von externen Kosten ist, ist umstritten (vgl. Perman u. a., 2003, S. 134). Die Unterscheidung zwischen externen Kosten und (Umwelt-)Schadenskosten im Factsheet, die vom deutschen Umweltbundesamt übernommen worden ist (Umweltbundesamt[DE], 2018, S. 12), kann zwar so getätigt werden, erscheint in diesem Kontext aber aus folgenden Gründen wenig optimal: Selbst wenn man eine enge Definition von externen Kosten wählt, muss für die Herstellung von Kostenwahrheit in einem ersten Schritt die Gesamtheit aller ungewollten externen Effekte (bzw. Schadenskosten) identifiziert und monetarisiert werden. Erst in einem zweiten Schritt kann man sich Gedanken über die „Internalisierung“ – unter Berücksichtigung schon bestehender Instrumente – machen¹.

Hilfreicher erscheint bei der Definition der Kostenwahrheit die Unterscheidung zwischen Schadenskosten und Vermeidungskosten (z.B. die Kosten, die für die Erreichung eines Klimazieles erforderlich sind), und die Darstellung der Bandbreite an Methoden, die diese Kostenarten aufzeigen können, sowie deren Vor- und Nachteile.

Für die Schadenskosten können folgende Methoden genannt werden:

- Der vom deutschen Umweltbundesamt empfohlene und letztlich angewandte bottom-up Wirkungspfadansatz (sowie die Vielzahl darin enthaltener Methoden zur ökonomischen Bewertung von Schäden). Hier werden, wo Ursache-Wirkungsbeziehungen etabliert werden können, **physische und gesundheitliche Klimaschäden** anhand verschiedener Methoden **monetarisiert**.
- Makroökonomische top-down Modelle (top-down „Integrated Assessment Models“ - IAMs), deren Schadenskostenberechnungen den Diskurs über die Kosten des Klimawandels politisch stark beeinflusst haben (vgl. Nordhaus, 2017; Stern, 2006). Hier kommen Schadensfunktionen zur Anwendung, die eine **Wirkungsbeziehung zwischen Temperatur und Wirtschaftswachstum** herstellen.

Mit Blick auf das völkerrechtlich verbindliche Pariser Klimaabkommen muss erwähnt werden, dass Berechnungen der Schadenskosten sich generell nicht an deren Verwendung als

¹ Insbesondere ist darauf hinzuweisen, dass die mit Energieverwendung verbundenen Aktivitäten fast durchwegs mit einer Reihe von externen Effekten verbunden sind, nicht allein der Treibhausgaswirkung der Emissionen. Diese Gesamtheit der externen Effekte gilt es bei einer Internalisierung abzubilden. Würde man darauf vergessen, und beispielsweise in der Festsetzung der Mineralölsteuer ausschließlich die Treibhausgaswirkung berücksichtigen (nicht aber Stau-, Lärm-, Gesundheits-, Luftschadstoffemissions-, usw. -kosten), so würde - der vorgeschlagenen Definition von externen Kosten und Schadenskosten des Factsheets folgend – der in diesem Factsheet vorgeschlagene Schadenskostenpreis von €180 t/CO₂ dazu führen, die bestehende Mineralölsteuer für Benzin und Diesel effektiv zu reduzieren, da sich hier schon eine implizite CO₂-Bepreisung von über €180 t/CO₂ ergibt (Kettner-Marx und Kletzan-Slamaniq, 2018).

Bepreisungsgrundlage zur Erreichung dieses Zieles orientieren. Verwendet man diese Kostensätze als Basis für eine CO₂-Bepreisung ist die Erreichung dieses Ziel und auch das der österreichischen Regierung daher nicht gewährleistet.

Für Vermeidungskosten können folgende Methoden genannt werden:

- Technisch-ökonomische bottom-up Modelle (bottom-up IAMs, z.B. Energiesystemmodelle, Landnutzungsmodelle), die in letzter Zeit immer mehr in den Vordergrund gerückt sind. Diese Modelle können Vermeidungspfade und entsprechende **Vermeidungskosten für Klimaziele** aufzeigen (vgl. Grubler u. a., 2018; Rogelj u. a., 2018).
- Die Erfassung der Zahlungsbereitschaft zur **Vermeidung eines Verlustes an Lebensqualität** mit Hilfe ökonomischer Methoden. Damit kann ebenfalls eine Bandbreite an Vermeidungskosten ermittelt werden (Baron und Getzner, 2020). Für Österreich beträgt die Zahlungsbereitschaft in einer Studie von Baron und Getzner (2020) im Durchschnitt 186 €/tCO₂.

Ein Methode, die sich für beide Kostenarten anbietet, ist die der **ExpertInnenbefragungen** (Pindyck, 2019).

Der Vorteil von Vermeidungskosten besteht darin, dass ein gewähltes Klimaziel von bottom-up IAMs (Integrated Assessment Models) auch erreicht werden muss. Diese Kosten bilden somit einen Preispfad ab, der mit dem im Modell getätigten Annahmen und verfügbaren Technologien ein Klimaziel erreicht. Bis jetzt gibt es noch keine derartige Studie für die Erreichung des im Regierungsprogramm festgeschriebenen Reduktionsziels (Netto Null bis 2040), dafür aber eine große Bandbreite an globalen Studien für das 1,5 °C Ziel.

1.2 Schadenskosten - Social Costs of Carbon: Würdigung und Kritik

Auf Basis der gesamten Schadenskosten können die **Grenzkosten** berechnet werden. Mit Grenzkosten bezeichnet man den externen Schaden, der z.B. durch das Ausstoßen einer weiteren Einheit CO₂ (meist eine Tonne) im Laufe ihrer Verweildauer in der Atmosphäre (meist werden hier 100 Jahre angenommen) verursacht wird. Mit Bezug auf CO₂ ist dieser Wert auch als „Social Cost of Carbon“ (SCC) bekannt geworden.

Das Konzept der SCC ist der Annahme geschuldet, dass es einen wirtschaftlich optimalen Weg zur CO₂-Reduktion gibt: Zu rasche oder einschneidende Reduktionsmaßnahmen gefährden die Wirtschaftsentwicklung, zu geringe leisten nur unzureichenden Klimaschutz. Mit top-down IAMs und dem Wirkungspfadansatz versucht man einen optimalen Preis für CO₂, die SCC, festzusetzen.

Die Berechnungen der SCC sind mit vielen Annahmen verbunden, v.a. mit einer starken zeitlichen Komponente. Erschwerend ist auch, dass Verursachung und Auftreten der Schäden zeitlich und regional sehr unterschiedlich sind. Im Factsheet werden einige, jedoch nicht alle wichtigen Annahmen erwähnt, die das Ergebnis stark beeinflussen. Hier die nach Ansicht der AutorInnen wichtigsten Annahmen:

1. Schadenswirkung – Auswahl der Methode und Schadensfunktion
2. Die soziale Diskontrate, bestehend aus (a) reiner Zeitpräferenz und (b) der Grenznutzenelastizität des Konsums mal der Wachstumsrate des Konsums
3. Klimasensitivität (d.h. wie stark sich THG-Konzentrationen auf die Temperatur auswirken)
4. Aggregation der Schadenswerte (v.a. Schäden, die in Ländern mit geringerem Pro-Kopf-Einkommen auftreten).

5. Der Konzentrationspfad der Treibhausgasemissionen, wirtschaftliche Entwicklung, technischer Fortschritt und Bevölkerungsentwicklung

Für IAMs hängen die Ergebnisse im Wesentlichen von den Annahmen 1 bis 3 ab (Pindyck, 2017). Ähnliches wird auch für Wirkungspfadanalysen gelten. Diese Punkte werden daher noch kurz ausführlicher diskutiert. Die Aggregation der Schadenswerte (4) kann auch signifikante Auswirkungen besitzen (siehe z.B. Ricke u. a., 2018). Die sozio-ökonomischen Annahmen (5) bestimmen v.a. den Referenzwert auf Basis dessen der Schaden einer weiteren Einheit CO₂ berechnet wird. Hier zeigt sich z.B., dass, je höher die Konzentration der THG in der Atmosphäre ist, desto höher wird der Schaden sein, den eine weitere Einheit CO₂ bewirkt (auf Grund der nicht-linearen Auswirkungen eines Temperaturanstieges und der bereits eingetretenen Vorschäden).

Besonders die **Schadensfunktion** in IAMs wird oft als willkürlich und unwissenschaftlich kritisiert (siehe dazu v.a. Pezzey, 2019; Pindyck, 2017). Es handelt sich dabei meist um eine aggregierte arbiträre Schadensfunktion, die einen Einfluss zwischen Temperatur und BIP herstellt.

Wirkungspfadberechnungen können hier eventuell robustere Ergebnisse liefern, wenn sie auf naturwissenschaftlich etablierten Ursache-Wirkungsbeziehungen beruhen (z.B. Auswirkung des Temperaturanstieges auf Pflanzenwachstum). Dagegen ist die Monetarisierung dieser Werte eine hohe Herausforderung. Zudem sind die Risiken und Unsicherheiten, die mit einem erhöhten Temperaturanstieg verbunden sind, extrem hoch (Hoegh-Guldberg u. a., 2019; Lenton u. a., 2019) und besitzen die Eigenschaft eines „fat tails“ (Weitzman, 2014) – zwar geringe Wahrscheinlichkeiten katastrophaler Ereignisse, die jedoch – anders als in einer Normalverteilung – doch so hohe Wahrscheinlichkeit haben, dass sie zu berücksichtigen sind, und eine Beachtung allein des Erwartungswertes jedenfalls nicht adäquat ist. Diese fat tails werden in IAMs weitgehend nicht berücksichtigt, wodurch das Gesamtrisiko der Klimawandelauswirkungen stark unterschätzt werden kann. Nicht nur Extremereignisse, sondern auch viele weitere Klimawandelauswirkungen, die in den IPCC Berichten identifiziert worden sind, werden oft nicht in der SCC berücksichtigt, u.a. die Versäuerung der Ozean (Korallenbleiche), die Veränderung der Schneedecke, das erhöhte Risiko von Wald- und Buschbränden, oder das Schmelzen des Permafrostes, um nur einige wenige zu nennen (siehe hierzu: IPI, 2019). Auch die Wirkungspfadberechnungen werden wohl nicht die Gesamtheit dieser Auswirkungen berücksichtigen können. Weitere Aspekte, die in Diskussion stehen:

- Für welche Region sind die Schäden wie zu bewerten? Der weitgehende wissenschaftliche Konsens besagt, dass diese global gesehen werden müssen.
- Über welchen Zeitraum sind sie zu berücksichtigen: Im Allgemeinen geht man von mindestens 100 Jahren aus. Daraus ergibt sich bereits ein wesentlicher Unsicherheitsfaktor, denn wenn auch die Klimamodelle Daten bis 2100 liefern, die sozio-ökonomischen Entwicklungen können nicht über einen vergleichbaren Zeitraum abgeschätzt werden – wie die Corona Krise gerade bildlich vor Augen führt.
- Die Schäden wachsen in vielen Fällen exponentiell mit der Temperatur, so dass der Zeitpunkt, ab welchem und bis zu welchem gerechnet wird, ganz entscheidend ist.
- Kippunkte im Klimasystem könnten das Klima in einen Modus bringen, der die Zivilisation gefährdet und die Weltbevölkerung dramatisch reduzieren würde („hothouse earth“). Wie monetarisiert man eine solche Entwicklung?

Spätestens seit dem ersten Bericht von Nicholas Stern (2006) zu den Kosten des Klimawandels ist die **soziale Diskontrate** ein Diskussionspunkt, vor allem unter ÖkonomInnen. Die soziale Diskontrate geht dabei auf Ramsey (1928) zurück und besteht aus einer rein zeitlichen Präferenz, die den gesellschaftlichen Stellenwert von Schäden in der Zukunft wiedergibt, sowie der Präferenz, die wir einer weiteren Einheit Konsum beimessen. Dieser letzte Punkt reflektiert die Tatsache, dass uns ein zusätzlicher Euro weniger wert sein wird, wenn wir reicher werden und ist definiert als die Grenznutzenelastizität des Konsums. Während die reine zeitliche Präferenz schon von Ramsey (1928) und ebenso vom Umweltbundesamt[DE] (2019) aus ethischen Gründen auf null gesetzt wird – eine Argumentation, der wir uns anschließen – erscheint die Annahme zusätzlichen Konsum zu diskontieren sinnvoll. In vielen IAMs wird explizit auch eine rein zeitliche Präferenz angewendet, jedoch mit großen Unterschieden, von 0,1% (Stern, 2006) bis über 4% (Nordhaus, 2017). Das Umweltbundesamt[DE] (2018) nimmt als Basis eine soziale Diskontrate von 1% an, da sie in Ihren Berechnungen ein jährliches Wirtschaftswachstum von 1% mit einer Grenznutzenelastizität von 1 hinterlegen (somit ist die Bezeichnung von „1% Zeitpräferenzrate“ sowohl in Umweltbundesamt[DE] (2019) als auch im Factsheet verkürzt und damit vermutlich zumindest missverständlich). Wie stark die Diskontrate die Ergebnisse beeinflusst, zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht über aktueller SCC (in € oder US\$ pro Tonne CO₂) Werte in der rezenten Literatur nach unterschiedlichen sozialen Diskontraten und methodischen Ansätzen

Quelle	Methode	(Effektive) Soziale Diskontrate						
		0%	1%	2%	2,5%	3%	4,25%	5%
IPCC-AR5 (2014)	IAM	\$270	\$181			\$33		
UBA [DE] (2019)	Wirkungspfad	€640	€180					
Nordhaus (2017)	IAM		\$197		\$129	\$79	\$31	\$20
Ricke et al. (2018)	IAM			\$417		\$406		

Anmerkung: Die Ergebnisse aus Ricke et al. (2018) zeigen nur Mittelwerte. Die Bandbreite im 66%-Konfidenzintervall liegt hier bei einer sozialen Diskontrate von 2% zwischen \$177 bis \$805.

Die Unsicherheiten hinsichtlich der **Klimasensitivität** sind von vergleichsweise geringer Bedeutung für das Ergebnis, andere Annahmen sind viel wichtiger. Klimasensitivität wird meist als Temperaturänderung verstanden, die sich bei Verdoppelung der CO₂-Konzentration (von ~280 ppm auf 560 ppm) ergibt, wenn das System in einen Gleichgewichtszustand gekommen ist (Equilibrium Climate Sensitivity - ECS). Diese Klimasensitivität wurde im letzten IPCC Bericht mit 1.5-4.5° C angegeben, dürfte aber aufgrund neuerer Ergebnisse im kommenden IPCC Bericht höher angesetzt werden. Klimasensitivität kann aber auch als Transient Climate Response (TCR) definiert werden, das ist die Temperaturerhöhung, die zum Zeitpunkt der Verdoppelung der CO₂-Konzentration zu erwarten wäre bei einer hypothetischen Steigerung von 1% pro Jahr.

Folgerung

In Anbetracht dieser großen Bandbreiten, vieler Annahmen und Unsicherheiten, und der Tatsache, dass die Einhaltung der Reduktionsziele nicht gewährleistet ist, wird die Sinnhaftigkeit

einen spezifischen Wert der SCC der politischen praktischen Arbeit zu nehmen stark angezweifelt (Pezzey, 2019; Pindyck, 2017, 2019; Rosen, 2016). Es scheint daher vernünftiger sich an Klimazielen zu orientieren, für die es einen gesellschaftlichen Konsens gibt, wie das Pariser Klimaabkommen. Gibt es so ein Abkommen, so bietet sich der Ansatz der Vermeidungskosten als mögliche Alternative an (Mattauch u. a., 2019, S. 2; Pezzey, 2019; Umweltbundesamt[DE], 2018).

1.3 Vermeidungskosten - Mitigationenaufwand zur Erreichung der Pariser Ziele: Würdigung und Kritik

Die Berechnung von Vermeidungskosten und dem Gegenpart zu der SCC (Social Cost of Carbon – Grenzsadenschadenskosten des CO₂), den **Grenzvermeidungskosten** (englisch: Marginal Abatement Costs = Anstieg der Vermeidungskosten, wenn eine weitere Einheit CO₂ eingespart wird – abhängig von der Technologie, die als nächstes für diese CO₂-Einsparung eingesetzt wird), basieren hauptsächlich auf technisch-ökonomischen Modellen (bottom-up Integrated Assessment Models - IAMs)², die im Detail Produktionstechnologien und deren CO₂-Auswirkungen abbilden, wie z.B. Energiesystem-, Landnutzungs-, Mobilitäts- oder Gebäudemodelle. Auch im Zuge der Kritik an den SCC kamen hauptsächlich diese Modelle im IPCC Sonderbericht zum 1,5 °C Ziel zur Anwendung (IPCC, 2018). Das Ergebnis dieser bottom-up IAMs ist ein Technologie- und Konsumpfad, mit dem ein vorgegebenes Emissionsziel erreicht wird. Aus diesen Ergebnissen kann man dann auch auf die gesamten Vermeidungskosten sowie die Grenzvermeidungskosten rückschließen. Ähnlich wie bei den SCC, soll der CO₂-Preis den Grenzvermeidungskosten entsprechen.

Auch die Grenzvermeidungskosten sind von vielen Annahmen getrieben und hängen stark ab von (vgl. v.a. IPCC, 2018, S. 152ff):

- der eingesetzten Methode (je flexibler, umso geringer der CO₂-Preispfad)
- der Nachfrage nach Energiedienstleistungen und Konsumveränderungen
- dem angestrebten Klimaziel (je strenger, umso höher der CO₂-Preispfad)
- den verfügbaren Technologie-Portfolios, die im Modell eingesetzt werden können, um eine weitere Einheit CO₂ einzusparen, v.a. ob der Einsatz von Carbon Dioxide Removal (CDR) Technologien wie Bio-Energy-Carbon-Capture-Storage (BECCS) in Betracht gezogen wird.
- die Entwicklung von sozio-ökonomischen Treibern (je später Klimaschutz betrieben wird, umso höher und steiler wird der Preispfad)
- anderen Klimaschutzmaßnahmen (je mehr, umso geringer der notwendige CO₂-Preispfad)

Im Allgemeinen ist die Bandbreite an Grenzvermeidungskosten geringer als die der SCC (IPCC, 2018). Besonders die soziale Diskontrate wirkt sich weniger stark auf das Ergebnis aus. Sie hat

² Auch top-down ökonomische Modelle (z.B. Gleichgewichtsmodelle) werden verwendet um Vermeidungskosten abzubilden. Dabei wird auf Basis von geschätzten Preiselastizitäten die Wirkung z.B. eines CO₂-Preises auf die Nachfrage nach fossilen Rohstoffen geschätzt (vgl. Edenhofer u. a., 2019; Großmann u. a., 2019; Kirchner u. a., 2019; Steining u. a., 2014). Der CO₂-Preis kann so gesetzt werden, dass ein Klimaziel erreicht wird. Diese Modelle sind jedoch weniger aggregiert als klassische top-down IAMs und bilden viele Sektoren mit ihren unterschiedlichen Produktionsfunktionen ab. Bottom-up IAMs bilden oft nur einen oder wenige Sektoren ab, dafür berechnen sie die Angebotskurven von Technologien explizit, womit sich Angebots-Preiselastizitäten endogen ergeben.

hauptsächlich Einfluss auf die Wahl und den Zeitpunkt von Investitions- und Betriebsphasen von Klimaschutztechnologien.

Eine Bandbreite an möglichen Vermeidungskosten ist in Tabelle 2 aufgezeigt. Sie verdeutlicht den großen Einfluss der angewandten Modelle und sozio-ökonomischer Szenarien („Shared Socio-economic Pathways“ - SSPs) auf die Ergebnisse. Je geringer die Herausforderungen für die Vermeidung von THG-Emissionen (z.B. durch internationale Kooperation, gesellschaftlichen Wertewandel, ordnungspolitische Maßnahmen, etc.), desto niedriger fällt der CO₂-Preis aus. Diese Berechnungen beziehen sich jedoch auf globale Vermeidungspfade und sind nicht Österreich-spezifisch.

Tabelle 2: Übersicht über aktuelle Grenzvermeidungskosten (in € oder US\$ pro Tonne CO₂) in der rezenten Literatur

Quelle	CO ₂ -Preis					Klimazielvorgabe	Bandbreite	Methode
	Info	Min	Ø	Max	Wert			
IPCC SR 1,5 °C (2018)	Diskontierter (5%) Preis 2030-2100	125	450	650	\$/tCO ₂ [2010]	<1,5 °C	Modelle & Szenarien	Bottom-Up IAMs (Integrated Assessment Models)
		100	125	190		1,5 °C Low		
		60	75	140		1,5 °C High		
Rogelj u. a. (2018)	Diskontierter (5%) Preis 2020-2100	50	k.A.	165		1,5 °C für SSP2	Modelle	
		35	k.A.	60		1,5 °C für SSP1		
Gambhir u. a. (2019)	Einstieg 2020	35	85	145	\$/tCO ₂ [2005]	<1,5 °C	Modelle & Szenarien	
	Anstieg 2030	80	145	160				
Edenhofer u. a. (2019)	Einstieg 2020	20	50	160	€/tCO ₂ [2020]	2030 Ziel für Deutschland (-38% vs. 2005)	Preis- elastizitäten & Emissionen	Preis- elastizitäten
	Anstieg 2030	70	130	350				

Anmerkungen: Die Bandbreiten für IPCC SR 1,5 °C (2018) und Gambhir u. a. (2019) beziehen sich auf das 25%- und 75%-Boxplot Intervall in den jeweiligen Abbildungen (Fig. 2.26b im IPCC bzw. Fig. 3b in Gambhir). Die Bandbreiten von Rogelj u. a. (2018) beziehen sich auf die Werte in Fig 3. Die Werte sind nicht exakt vergleichbar, da im IPCC SR 1,5 (2018) und in Rogelj u. a. (2018) nur diskontierte Werte über den gesamten Zeitraum abgebildet werden. In Gambhir u. a. (2019) zeigt sich z.B. deutlich wie stark die Preise nach 2030 ansteigen. Die Werte im Jahr 2100 für das <1,5 °C Ziel liegen dort zwischen 2400 und 4900 \$/tCO₂ mit einem Median von ca. 4400 \$/tCO₂ (alles in 2005US\$ Werten).

Wie bei der SCC gilt es aber auch hier die hohen Risiken (fat tails) des Klimawandels zu berücksichtigen. Daher sollten modell-basierte Berechnungen für ein spezifisches Emissionsziel nur als Orientierung für einen möglichen CO₂-Preispfad genutzt werden, und auch Überlegungen einfließen, ob ein Risikomanagement, das auch die fat tails im Blick hat, nicht einen Preispfad auf einem wesentlich höheren Niveau erforderlich macht.

Die angeführten Preispfade sind stark abhängig von den in den Modellen verfügbaren Technologien zur (langfristigen) Speicherung von Kohlenstoff. Eine starke Fokussierung auf diese noch in den Kinderschuhen steckenden Technologien birgt jedoch viele Risiken. Ein „moral hazard“ der dabei entstehen kann ist zum Beispiel, dass man zu lange an fossiler Energieerzeugung festhält (Daggash und Mac Dowell, 2019). Zudem haben Grubler u. a. (2018) aufgezeigt, dass es sehr wohl Transformationspfade gibt, die ohne CDR-Technologien das 1,5 °C Ziel erreichen.

Folgerung

Auch wenn Vermeidungskosten ebenfalls von hohen Unsicherheiten begleitet sind, so sind sie auf Grund ihrer expliziten Berücksichtigung von Klimazielen besser als Orientierungshilfe für eine CO₂-Bepreisung geeignet als Schadenskosten. Für Österreich gibt es noch keine Studien, die eine Bandbreite für mögliche CO₂-Preispfade aufzeigen mit denen das Klimaziel Klimaneutralität 2040 erreicht wird.

Als kurzfristig verfügbare Ausgangsbasis wird vorgeschlagen sich an den Empfehlungen der Scientist for Future zu orientieren (Mattauch u. a., 2019), die sich auf die Studie von Edenhofer u. a. (2019) für Deutschland beziehen. Deren Ergebnisse decken sich auch mit den Empfehlungen der „High-Level Commission on Carbon Pricing“ (Stiglitz u. a., 2017). Für die Erreichung des 2030 Klimaziels für Nicht-ETS Sektoren in Deutschland (-38% vs. 2005) ergeben sich in Edenhofer u. a. (2019, S. 68) folgende Bandbreiten (mittel bis hoch):

- Einstiegspreis von 50-160 €/tCO₂ der bis 2030 auf 130-400 €/tCO₂ gesteigert wird; oder
- Preiskorridor für den Emissionshandel von 35-180 €/tCO₂ (2020) bis 70-450 €/tCO₂ (2030).

Die großen Risiken des Klimawandels und das Ziel Klimaneutralität 2040 verlangen wohl höhere Mindestpreise als die oben angeführten Werte, die sich an einer erst späteren Treibhausgasneutralität orientierten. Es wird empfohlen daher sobald wie möglich eine Berechnung für die österreichischen Klimaziele machen zu lassen, um diese Zahlen im notwendigen Ausmaß zu korrigieren.

Es gilt aber auch: je mehr begleitende Klimaschutzmaßnahmen gesetzt werden, wie z.B. Investitionsförderungen, strengere Standards oder Verbote, desto geringer kann der CO₂-Preisfad ausfallen. Da auch die Berechnungen von Vermeidungskosten mit Unsicherheiten behaftet sind, ist unbedingt ein Monitoring notwendig, das die Wirkung des CO₂-Preises und v.a. seine Wechselwirkung mit anderen Klimaschutzmaßnahmen jährlich überprüft und den Preisfad gegebenenfalls anpasst.

1.4 Zusammenfassung

In beiden Ansätzen (Schadens- und Vermeidungskostenansatz) führen Unsicherheiten zu einer relativ großen Spannweite an Schadens- und Vermeidungskosten. Besonders hervorzuheben sind dabei:

- | | |
|---|-----------------------|
| • Katastrophale Klimawirkungen | [beide] |
| • Schaden und Nutzen liegen zeitlich und räumlich auseinander | [beide] |
| • Schadensfunktion | [Schadenskosten] |
| • Diskontrate | [v.a. Schadenskosten] |
| • Vermeidungstechnologien | [Vermeidungskosten] |

Der Vorteil von Vermeidungskosten gegenüber Schadenskosten liegt dabei vor allem:

- in der expliziten Berücksichtigung von Klimazielen;
- und in der etwas robusteren Kostenbandbreite.

Als Orientierung für eine CO₂-Bepreisung wird daher empfohlen sich an Vermeidungskosten zu orientieren. Für das österreichische Klimaziel Klimaneutralität 2040 gibt es bis jetzt keine derartigen Berechnungen. Hier sollten entsprechenden Studien sobald wie möglich in Auftrag gestellt werden. Kurzfristig kann man auf aktuelle Berechnungen für das deutsche Klimaziel 2030

zurückgreifen, die aber nur eine untere Bandbreite darstellen können. Um die Einhaltung des österreichischen Klimazieles zu garantieren benötigt es einen umfassenden Ansatz, der im nächsten Abschnitt kurz skizziert wird.

1.5 Umfassender Ansatz

Die Implementierung eines CO₂-Preispfades zur Erreichung des österreichischen Klimazieles sollte einen umfassenderen Ansatz besitzen, als die alleinige Orientierung an Kostensätzen (inkl. Monitoring). So deckt ein reiner CO₂-Preis nicht die auch in Österreich wichtigen Treibhausgase Methan und Lachgas aus der Land- und Abfallwirtschaft ab (zumindest nicht direkt). Begleitende Maßnahmen in diesen Bereichen sollten daher unbedingt angedacht werden. Es ist nützlicher sich v.a. an dem verbleibenden THG-Emissionsbudget zu orientieren, mit dem Österreich seinen angemessenen Beitrag für das 1,5 °C Ziel leisten kann (vgl. z.B. Kirchengast u. a., 2019). Alle gesetzten Maßnahmen, inkl. der CO₂-Bepreisung, müssen daran gemessen werden, dieses Budget auch einhalten zu können.

Österreich hat sich zudem verpflichtet die Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs) der Vereinten Nationen (United Nations, 2015) einzuhalten. Es gilt also auch die Erreichung der Klimaziele in den Kontext andere Nachhaltigkeitsziele zu setzen, wie z.B. soziale Gerechtigkeit (SDG 10) oder Stopp des Biodiversitätsverlustes (SDG 15), um nur zwei davon hier herauszugreifen (vgl. Independent Group of Scientists appointed by the Secretary-General, 2019).

Hier gilt es mögliche Synergien zu stärken, wie z.B. geringere Luftverschmutzung, weniger Staus durch Reduzierung des individuellen motorisierten Verkehrs. Es ist aber auch daran zu denken Zielkonflikte zu minimieren. Das betrifft v.a. die Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung und/oder Kohlenstoffspeicherung (BECCS). Diesen technologischen Möglichkeiten sind eindeutig Grenzen gesetzt, und sie stehen je nach ihrer Umsetzung sehr schnell v.a. im Konflikt mit SDG 15 „Landökosysteme schützen“ (Frank u. a., 2013; Searchinger u. a., 2018; Stürmer u. a., 2013).

Eine CO₂-Bepreisung sollte am Ende immer im Kontext einer öko-sozialen Steuerreform implementiert werden, in der die Einnahmen aufkommensneutral wiederverwendet werden – am besten so, dass sie Synergien mit anderen SDGs herzustellen. Zum Beispiel können ärmere und ländliche Haushalte, die relativ gesehen stärker von einer CO₂-Bepreisung belastet werden, durch die Auszahlung eines Klimabonus zu Nettonutzern einer solchen Steuerreform werden (vgl. Kettner-Marx u. a., 2018; Kirchner u. a., 2019), insbesondere aber auch die Einnahmen zur Anreizsetzung für und Stärkung von nachhaltigen Innovationen (die damit auch klimafreundlich sind) eingesetzt werden (vgl. Köppl u. a., 2019; Schleicher und Steininger, 2018).

2 Spezieller Kontext, in dem das Factsheet bzw. unsere Kommentare dazu stehen

Die wissenschaftlichen Ausführungen zur Kostenwahrheit in Abschnitt 1 und 2 sind zunächst unabhängig von der politischen Umsetzung. Ganz gleich welches Maß man verwendet, bedarf es politischer Vorgaben für die Umsetzung. Diese Vorgaben richten sich nach Wertesystemen, Weltanschauungen, persönlichen Präferenzen der EntscheidungsträgerInnen, vermutete Akzeptanz in der Wirtschaft und Gesellschaft (WählerInnen), etc. oder sie sind Gegenstand gesellschaftlichen Aushandelns. Diese politischen Vorgaben können nachträglich Gegenstand wissenschaftlicher Analysen sein, eine wissenschaftliche Optimierung ist aber nicht möglich, ohne z.B. die Wertesysteme explizit zu machen.

Politische Vorgaben orientieren sich an der *politischen Situation*. Diese ist derzeit in deutlichem Umbruch. Wegen der COVID19-Pandemie zeichnet sich ein massiver Wirtschaftseinbruch ab, und auch das Finanzsystem gerät möglicherweise in eine Krise. Es könnte in beiden Fällen das Ausmaß der Krise 2007/2008 übertroffen werden. Zugleich ist der Ölpreis auf einem sehr niedrigen Niveau. Während die obigen Überlegungen zur Kostenwahrheit aus wissenschaftlicher Sicht von allgemeiner Gültigkeit sind, und vor der Krise als Hilfestellung für politische Entscheidungen möglicherweise ausreichend gewesen wären, müssen unter den gegebenen Umständen neue Notwendigkeiten oder Möglichkeiten, die sich eröffnen, ausgelotet werden. Dabei sei auch auf den Aufruf der Wissenschaft: „Ein gesunder Planet für gesunde Menschen“³ hingewiesen, in dem ein *„reset“ des wirtschaftlichen Denkens* gefordert wird, auf der Basis des zunehmenden Verständnisses für die ursächlichen Zusammenhänge zwischen z.B. der COVID19-Pandemie und der Übernutzung der planetaren Ressourcen (Rockström u. a., 2009; Steffen u. a., 2015, 2018; UN Environment, 2019). Auch die Erkenntnisse der jungen Biomforschung stellen eine ausschließlich an die CO₂-Reduktion gebundene Kostenwahrheit in Frage. Diesen Überlegungen nachzugehen sprengt den Rahmen der erbetenen Stellungnahme, doch sollten Arbeiten in dieser Richtung unverzüglich aufgenommen werden, da das Fenster in dem ein „reset“ möglich ist, voraussichtlich nur kurz offenbleiben wird.

Innerhalb des Rahmens gegenwärtigen Wirtschaftsdenkens gibt es jedoch auch Möglichkeiten, die exemplarisch hier aufgezählt werden sollen, eben weil sie bei den Berechnungen der Vermeidungskosten berücksichtigt werden müssten.

Der zuletzt stark fluktuierende Ölpreis legt nahe einen Energiepreis-Stabilisierungsmechanismus einzurichten, um die Preise für Energie, im ersten Schritt bei Erdöl, kompatibel mit den Zielen der Energie- und Klimapolitik zu machen (Steininger und Schleicher, 2020). Eingeführt werden könnte ein Preisstabilisierungs-Mechanismus, der einen Preis-Korridor festlegt, sodass ein effektiver Preis für Erdöl (und dessen Produkte) in einem vorgegebenen Preiskorridor bis 2030 angestrebt wird. Ein daraus zu speisender Energiepreis-Stabilisierungsfonds kann angesichts der aktuellen Situation der österreichischen Wirtschaft wirksame Impulse für nachhaltigkeitsorientierte Innovationen leisten, die wiederum konjunkturwirksam werden und zur langfristigen Sicherung des Wirtschaftsstandortes beitragen (dauerhafte Reduktion der Import-Abhängigkeit von Erdöl, zugehörige Wertschöpfung kommt zurück in das Inland, das Ziel der Klimaneutralität wird unterstützt). Die besondere Situation der Corona-Krise kann für

³ <https://clubofrome.org/impact-hubs/climate-emergency/open-letter-to-global-leaders-a-healthy-planet-for-healthy-people/>

konjunkturwirksame nachhaltigkeitsorientierte Innovationen genutzt werden. Insbesondere könnten jene Branchen, die aktuell hohe Einnahmefälle haben (Tourismus, Transportunternehmen, Reiseunternehmen, Kulturveranstalter) mit zielgerichteten, klimafreundlichen Innovationen aus dem Preis-Stabilisierungsfonds unterstützt werden, was mit hohen nationalen Wertschöpfungseffekten verbunden wäre (Schleicher u. a., 2018).

Ordnungspolitische Maßnahmen, die jetzt gesetzt werden, auch in Zusammenhang mit den gewaltigen finanziellen Mitteln die zur Stützung der Wirtschaft in die Hand genommen werden, könnten die Vermeidungskosten künftig deutlich senken. So könnte z.B. jetzt Kurzstreckenflüge zur Gänze durch Zugstrecken ersetzt werden, oder durch Förderung der lokalen Biobetriebe (Landwirtschaft und Handel) die Resilienz der Versorgung und der Wirtschaft gesteigert werden.

3 Empfehlungen

Kostenwahrheit im politischen Kontext eines Regierungsprogrammes sollte so verstanden werden, dass eine möglichst praktikable Umsetzung ermöglicht wird, die aktuelle wissenschaftliche Diskussionen berücksichtigt.

In diesem Sinne wird empfohlen, eine Definition von Kostenwahrheit zu wählen, die sich in erster Linie an einem Paris-konformen (1.5°C) THG-Budget bzw. den im Regierungsübereinkommen festgehaltenen Reduktionsfristen, und erst in zweiter Linie an Vermeidungskosten aus der wissenschaftlichen Literatur orientiert, um einen CO₂-Preisfad zu initiieren. Unter Berücksichtigung der „fat tails“ und möglicher Kippelement sind die Schadenskosten dabei mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit um einige Faktoren höher als die Vermeidungskosten, die wir für die Erreichung des Paris-Ziel tätigen müssen.

Ein CO₂-Preisfad muss dabei immer in einen umfassenden Kontext gesetzt werden, sei es die Implementierung im Zuge einer öko-sozialen Steuerreform, die Einbeziehung von Wechselwirkungen mit anderen Klimaschutzmaßnahmen, sowie die Stärkung von Synergien und Minimierung von Zielkonflikten mit anderen Nachhaltigkeitszielen (z.B. Verteilungsgerechtigkeit und Biodiversitätsverlust).

In Anbetracht dieser Vorbehalte wird empfohlen als kurzfristig verfügbare Ausgangsbasis, ähnlich wie die Scientists for Future (Mattauch u. a., 2019), basierend auf den berechneten Vermeidungskosten von Edenhofer u. a. (2019) für Deutschland (mit dem vorgegebenen Ziel von -38% für den Nicht-ETS Bereich im Jahr 2030 vs. 2005) folgende Bandbreiten für einen CO₂-Preisfad im Nicht-ETS Bereich heranzuziehen:

- Einstiegspreis von 50-160 €/tCO₂ der bis 2030 auf 130-400 €/tCO₂ gesteigert wird bzw.
- Preiskorridor für Emissionshandel von 35-180 €/tCO₂ (2020) bis 70-450 €/tCO₂ (2030).

Diese Preise verstehen sich zusätzlich zu schon bestehenden Abgaben und Steuern.

Die hohen Risiken des Klimawandels und ehrgeizigere Klimaziele verlangen evtl. noch höhere Mindestpreise. Das wird auch für das Klimaziel der österreichischen Regierung gelten (Klimaneutralität 2040). Um eine für das österreichische Klimaziel zutreffende Bandbreite abschätzen zu können empfehlen wir entsprechende Studien in Auftrag zu stellen.

Je mehr andere Klimaschutzmaßnahmen eingesetzt werden (z.B. Investitionsförderungen, Verbote), umso geringer kann der CO₂-Preisfad ausfallen. Es ist deshalb ein Monitoring notwendig, das die Wirkung des CO₂-Preises und v.a. seine Wechselwirkung mit anderen Klimaschutzmaßnahmen jährlich überprüft und gegebenenfalls anpasst.

Zudem muss sichergestellt werden, dass (a) sowohl Lachgas- und Methanemissionen, (b) als auch Co-Benefits im Sinne der SDGs berücksichtigt werden und (c) die Einnahmen durch CO₂-Bepreisung zur Vermeidung negativer Verteilungsaspekte und Anreizsetzung für nachhaltige Innovation genutzt werden.

Darüber hinaus sollte angesichts der COVID19-verursachten Wirtschaftskrise unverzüglich eine wissenschaftsgetriebene Arbeitsgruppe eingesetzt werden, die sich mit den Möglichkeiten eines „reset“ bzw. den Erfordernissen eines umfassenderen Begriffes der Kostenwahrheit auseinandersetzt. Dabei sollten unterschiedliche Zeithorizonte der Maßnahmensetzung berücksichtigt werden.

Literatur

- Baron, H., Getzner, M., 2020. Willingness-to-pay for reducing greenhouse gas emissions: Differences between urban and rural areas (Paper submitted to the 25th Annual Conference of the European Association Environmental and Resource Economists (EAERE)).
- Common, M., Stagl, S., 2005. Ecological economics: an introduction. Cambridge University Press.
- Daggash, H.A., Mac Dowell, N., 2019. Higher Carbon Prices on Emissions Alone Will Not Deliver the Paris Agreement. *Joule* 3, 2120–2133. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.08.008>
- Edenhofer, O., Flachsland, C., Kalkhul, M., Knopf, B., Pahle, M., 2019. Optionen für eine CO₂-Preisreform - MCC-PIK-Expertise für den Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gemeinnützige GmbH, Berlin. URL: https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/B2.3_Publications/Working%20Paper/2019_MCC Optionen_f%C3%BCr_eine_CO2-Preisreform_final.pdf (zugegriffen 27.8.19).
- Frank, S., Böttcher, H., Havlík, P., Valin, H., Mosnier, A., Obersteiner, M., Schmid, E., Elbersen, B., 2013. How effective are the sustainability criteria accompanying the European Union 2020 biofuel targets? *GCB Bioenergy* 5, 306–314. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2012.01188.x>
- Gambhir, A., Rogelj, J., Luderer, G., Few, S., Napp, T., 2019. Energy system changes in 1.5 °C, well below 2 °C and 2 °C scenarios. *Energy Strategy Rev.* 23, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.12.006>
- Großmann, A., Wolter, M.I., Bernard, F., Mönnig, A., Frank-Stocker, A., 2019. Evaluation von Klimaschutzmaßnahmen mit dem Modell e3.at (Working Paper No. 5), meetPASS: meeting the Paris Agreement and Supporting Sustainability. GWS (Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung) & SERI (Sustainable Europe Research Institute), Osnabrück.
- Grubler, A., Wilson, C., Bento, N., Boza-Kiss, B., Krey, V., McCollum, D.L., Rao, N.D., Riahi, K., Rogelj, J., Stercke, S.D., Cullen, J., Frank, S., Fricko, O., Guo, F., Gidden, M., Havlík, P., Huppmann, D., Kiesewetter, G., Rafaj, P., Schoepp, W., Valin, H., 2018. A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies. *Nat. Energy* 3, 515–527. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0172-6>
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bolaños, T.G., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I.A., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K., Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijioka, Y., Mehrotra, S., Hope, C.W., Payne, A.J., Pörtner, H.-O., Seneviratne, S.I., Thomas, A., Warren, R., Zhou, G., 2019. The human imperative of stabilizing global climate change at 1.5°C. *Science* 365, eaaw6974. <https://doi.org/10.1126/science.aaw6974>
- Independent Group of Scientists appointed by the Secretary-General, 2019. Global Sustainable Development Report 2019: The Future is Now – Science for Achieving Sustainable Development. United Nations, New York. URL: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/24797GSDR_report_2019.pdf (zugegriffen 24.10.19).
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

- Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf (zugegriffen 27.8.19).
- IPCC, 2018. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. In Press. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf (zugegriffen 27.8.19).
- IPI, 2019. A Lower Bound: Why the Social Cost of Carbon Does Not Capture Critical Climate Damages and What That Means for Policymakers. Institute for Policy Integration, New York University of Law. URL: <https://policyintegrity.org/publications/detail/a-lower-bound> (zugegriffen 2.4.20).
- Kettner-Marx, C., Kletzan-Slamanig, D., 2018. Energy and Carbon Taxes in the EU. Empirical Evidence with Focus on the Transport Sector. WIFO Work. Pap. URL: <http://www.wifo.ac.at/www/pubid/60972>
- Kettner-Marx, C., Kletzan-Slamanig, D., Kirchner, M., Sommer, M., Kratena, K., Weishaar, S.E., Burgers, I., 2018. CATs – Options and Considerations for a Carbon Tax in Austria. Policy Brief (Projektbericht No. 2018/075/S/WIFO project no: 8815). Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung (WIFO), Wien.
- Kirchengast, G., Kromp-Kolb, H., Steininger, K.W., Stagl, S., Kirchner, M., Ambach, C., Grohs, J., Gutsohn, A., Peisker, J., Strunk, B., 2019. Referenzplan als Grundlage für einen wissenschaftlich fundierten und mit den Pariser Klimazielen in Einklang stehenden Nationalen Energie- und Klimaplan für Österreich (Ref-NEKP) - Executive Summary. CCCA Wien-Graz - Verlag der ÖAW, Wien, Österreich, Wien. <https://doi.org/10.1553/Ref-NEKP-Summary>
- Kirchner, M., Sommer, M., Kratena, K., Kletzan-Slamanig, D., Kettner-Marx, C., 2019. CO₂ taxes, equity and the double dividend – Macroeconomic model simulations for Austria. Energy Policy 126, 295–314. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.030>
- Köppl, A., Schleicher, S., Schratzenstaller, M., 2019. Policy Brief: Fragen und Fakten zur Bepreisung von Treibhausgasemissionen. WIFO - Karl-Franzens-Universität Graz, Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel, Wien. URL: <http://www.wifo.ac.at/www/pubid/62071>
- Lenton, T.M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W., Schellnhuber, H.J., 2019. Climate tipping points — too risky to bet against. Nature 575, 592–595. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03595-0>
- Mattauch, L., Creutzig, F., aus dem Moore, N., Franks, M., Funke, F., Jakob, M., Sager, L., Schwarz, M., Voß, A., Beck, M.-L., Daub, C.-H., Drupp, M., Ekardt, F., Hagedorn, G., Kirchner, M., Kruse, T., Loew, T., Neuhoﬀ, K., Neuweg, I., Peterson, S., Roesti, M., Schneider, G., Schmidt, R., Schwarze, R., Siegmeier, J., Thalmann, P., Wallacher, J., 2019. Antworten auf zentrale Fragen zur Einführung von CO₂-Preisen. Gestaltungsoptionen und ihre Auswirkungen für den schnellen Übergang in die klimafreundliche Gesellschaft. Diskuss. Sci. Future. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3371150>
- Nordhaus, W.D., 2017. Revisiting the social cost of carbon. Proc. Natl. Acad. Sci. 114, 1518–1523. <https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114>

- Perman, R., Ma, Y., McGilvray, J., Common, M., 2003. Natural resource and environmental economics, Third Edition. ed. Pearson Education, Harlow. ISBN: 978-0-273-65559-6
- Pezzey, J.C.V., 2019. Why the social cost of carbon will always be disputed. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change* 10, e558. <https://doi.org/10.1002/wcc.558>
- Pindyck, R.S., 2017. The Use and Misuse of Models for Climate Policy. *Rev. Environ. Econ. Policy* 11, 100–114. <https://doi.org/10.1093/reep/rew012>
- Pindyck, R.S., 2019. The social cost of carbon revisited. *J. Environ. Econ. Manag.* 94, 140–160. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.02.003>
- Ramsey, F.P., 1928. A mathematical theory of saving. *Econ. J.* 38, 543–559.
- Ricke, K., Drouet, L., Caldeira, K., Tavoni, M., 2018. Country-level social cost of carbon. *Nat. Clim. Change* 8, 895–900. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0282-y>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., Wit, C.A. de, Hughes, T., Leeuw, S. van der, Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J.A., 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K.V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., Fujimori, S., Strefler, J., Hasegawa, T., Marangoni, G., Krey, V., Kriegler, E., Riahi, K., Vuuren, D.P. van, Doelman, J., Drouet, L., Edmonds, J., Fricko, O., Harmsen, M., Havlík, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., Tavoni, M., 2018. Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 °C. *Nat. Clim. Change* 8, 325–332. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0091-3>
- Rosen, R.A., 2016. Is the IPCC's 5th assessment a denier of possible macroeconomic benefits from mitigating climate change? *Clim. Change Econ.* 07, 1640003. <https://doi.org/10.1142/S2010007816400030>
- Schleicher, S., Köppl, A., Sommer, M., Lienin, S., Treberspurg, M., Österreicher, D., Grüner, R., Lang, R., Mühlberger, M., Steininger, K.W., Hofer, C., 2018. Welche Zukunft für Energie und Klima? Folgenabschätzungen für Energie- und Klimastrategien - Zusammenfassende Projektaussagen (No. 2018/082-1/S/WIFO-Projektnummer: 9616). Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Wien. URL: <https://ideas.repec.org/b/wfo/wstudy/61014.html> (zugegriffen 27.8.19).
- Schleicher, S., Steininger, K.W., 2018. Dekarbonisierung und Carbon Management für Österreich - Diskussionsbeiträge für Strategien (Wissenschaftlicher Bericht No. 79–2018). Wegener Center für Klima und Globalen Wandel, Karl-Franzens-Universität Graz, Graz. URL: <https://wegcwww.uni-graz.at/publ/wegcreports/2018/WCV-WissBer-Nr79-SSchleicherKSteininger-Nov2018.pdf> (zugegriffen 27.8.19).
- Searchinger, T.D., Wiersenus, S., Beringer, T., Dumas, P., 2018. Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. *Nature* 564, 249–253. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0757-z>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., Vries, W. de, Wit, C.A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B., Sörlin, S., 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>

- Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T.M., Folke, C., Liverman, D., Summerhayes, C.P., Barnosky, A.D., Cornell, S.E., Crucifix, M., Donges, J.F., Fetzer, I., Lade, S.J., Scheffer, M., Winkelmann, R., Schellnhuber, H.J., 2018. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 115, 8252–8259.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- Steininger, K., Lininger, C., Droege, S., Roser, D., Tomlinson, L., Meyer, L., 2014. Justice and cost effectiveness of consumption-based versus production-based approaches in the case of unilateral climate policies. *Glob. Environ. Change* 24, 75–87.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.10.005>
- Steininger, K.W., Schleicher, S., 2020. Energiepreis-Stabilisierungsmechanismus (Memo). Wegener Center for Climate and Global Change, Karl-Franzens-Universität, Graz.
- Stern, N., 2006. Stern Review: The Economics of Climate Change. URL: http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm (zugegriffen 15.12.17).
- Stiglitz, J., Stern, N., Duan, M., Edenhofer, O., Giraud, G., Heal, G., la Rovere, E.L., Morris, A., Moyer, E., Pangestu, M., Shukla, P.R., Sokona, Y., Winkler, H., 2017. Report of the High-Level Commission on Carbon Prices. World Bank, Washington, DC. URL: <https://www.carbonpricingleadership.org/report-of-the-highlevel-commission-on-carbon-prices> (zugegriffen 27.8.19).
- Stürmer, B., Schmidt, J., Schmid, E., Sinabell, F., 2013. Implications of agricultural bioenergy crop production in a land constrained economy – The example of Austria. *Land Use Policy* 30, 570–581. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.04.020>
- Umweltbundesamt[DE], 2018. Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten - Methodische Grundlagen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/methodenkonvention-30-zur-ermittlung-von-0> (zugegriffen 27.3.20).
- Umweltbundesamt[DE], 2019. Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten - Kostensätze. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/methodenkonvention-30-zur-ermittlung-von> (zugegriffen 10.8.19).
- UN Environment, 2019. Global Environment Outlook-GEO-6: Healthy Planet, Healthy People. Nairobi. <https://doi.org/10.1017/9781108627146>
- United Nations, 2015. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. Resolut. Adopt. Gen. Assem. URL: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf (zugegriffen 27.8.19).
- Weitzman, M.L., 2014. Fat tails and the social cost of carbon. *Am. Econ. Rev.* 104, 544–46.