

Stellungnahme

zum öffentlichen Fachgespräch mit dem Thema „CO₂-Bepreisung“ des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit im Deutschen Bundestag am 3. April 2019, Berlin

Dr. habil. Sebastian Lüning

Sebastian.Luning@gmx.net, Geowissenschaftler

Zusammenfassung

Klimapolitik ist eine besondere Herausforderung für alle Beteiligten. Der Umgang mit vielfältigen Unsicherheiten, enormer Interdisziplinarität, hoher Internationalität sowie Zeitmaßstäben teilweise jenseits der eigenen Lebensspanne ist ungewohnt und schwierig. Noch ist unbekannt, ob oder wann bezahlbare kohlenstofffreie Grundlast-Energieträger, Energiespeicherung und CO₂-Lagermöglichkeiten im großen Maßstab zur Verfügung stehen werden. Gleichzeitig entwickelt sich auch das wissenschaftliche Klimaverständnis immer weiter und stellt sich heute deutlich weniger dramatisch dar, als noch vor einem Jahrzehnt. Mittlerweile deutet vieles darauf hin, dass die Erwärmungswirkung des CO₂ eher in der unteren Hälfte des vom Weltklimarat IPCC genannten Unsicherheitsbereichs von 1,5-4,5°C pro CO₂-Verdopplung liegt. Entsprechend geringer fallen die angenommenen CO₂-Klimaschäden aus. Überhaupt scheinen frühere Schadensberechnungen stark aufgebläht und wenig robust zu sein, da sich die bei der Ermittlung verwendeten Klimamodelle in vielerlei Hinsicht als wenig realistisch herausgestellt haben, so dass den Berechnungen nur geringes Vertrauen geschenkt werden kann.

Angesichts noch immer fehlender Lösungen für kohlenstofffreie Energiegrundlastträger und Speicherung wird eine CO₂-Bepreisung momentan im Sektor der Stromerzeugung vor allem den Wechsel von Kohle zu Erdgas stimulieren, wobei Erdgas im Vergleich zur Kohle pro erzeugter Energieeinheit lediglich halb so viel CO₂-Emissionen verursacht. Der in Deutschland durch Verbot geplante Ausstieg aus der Kohle macht eine marktwirtschaftliche Lenkung über eine zusätzliche CO₂-Besteuerung in Deutschland de facto überflüssig. Auf europäischer Ebene wird das gemeinschaftliche CO₂-Vermeidungsziel kosteneffizient mit dem bereits bestehenden Emissionshandel erreicht.

Hauptaufgabe der Politik sollte es nun sein, energietechnologischen Fortschritt mithilfe von Forschungsförderung zu stimulieren. Eine vollständige Dekarbonisierung bleibt solange illusorisch, bis technische Ersatzlösungen vorliegen. Selbst eine scharfe CO₂-Bepreisung kann diesen technischen Durchbruch nicht erzwingen, wie am Beispiel der langjährigen Kernfusionsforschung deutlich wird. Eine Konzentration auf das derzeit realistisch Machbare sollte Priorität haben, gerade unter Berücksichtigung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands.

Klimapolitik erfordert Augenmaß. Politische Entscheider sollten sich nicht von krassen Katastrophenszenarien emotional treiben lassen, die sich bei näherem Hinsehen als maßlos überzogen darstellen. Maßnahmen sollten nicht nur ökologisch nachhaltig sein, sondern auch einer sozialen und wirtschaftlichen Nachhaltigkeit genügen. Die öffentliche Klimadiskussion ist momentan leider in einer extremen Schiefelage und wird medial von einigen wenigen Akteuren dominiert. Die schweigende Mehrheit der Fachkollegen bleibt unbeachtet. Es wäre wichtig, dass die Politik mehr öffentliche Foren schafft, in denen auch kontroverse klimawissenschaftliche Sachverhalte nüchtern und ergebnisoffen unter Beteiligung aller wissenschaftlicher Meinungen diskutiert werden können.

Einleitung

Im Zuge der globalen Industrialisierung und Nutzung fossiler Brennstoffe ist die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre mittlerweile auf den höchsten Stand seit

800.000 Jahren gestiegen. Gleichzeitig hat sich die Temperatur der Erde in den letzten 150 Jahren um knapp ein Grad erhöht. Der genaue quantitative Anteil menschengemachter und natürlicher Klimafaktoren an dieser Erwärmung ist jedoch noch immer unklar und ist an die nur ungenau bekannte Klimawirkung des CO₂, die sogenannte CO₂-Klimasensitivität gekoppelt. In seinem ersten Klimabericht 1990 vermutete der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) einen Erwärmungsbetrag von 1,5-4,5°C pro CO₂-Verdopplung. Dieser sehr große mit Faktor 3 behaftete Unsicherheitsbereich hat sich trotz großer Forschungsanstrengungen bis heute nicht verringert. Während in früheren IPCC-Berichten noch ein bester Schätzwert von 3,0°C angegeben wurde, verzichtete der IPCC in seinem letzten Gesamt-Bericht (AR5) auf diese Angabe, da unter den beteiligten Forschern kein Konsens erzielt werden konnte. Die Spannweite der möglichen Temperaturentwicklung reicht entsprechend von „beherrschbar“ bis „katastrophal“. Vieles deutet mittlerweile auf einen Wert der CO₂-Klimasensitivität in der unteren Hälfte des Spektrums hin. Insbesondere der Bereich von 1,6-2,2°C findet viele Unterstützer in der Fachwelt (z. B. Lewis and Curry, 2015; Mauritsen and Pincus, 2017; Mauritsen and Stevens, 2015; Otto et al., 2013).

Gemäß dem umweltpolitischen Vorsorgeprinzip bemühen sich einige führende Industrieländer derzeit, ihre Treibhausgasemissionen signifikant zu reduzieren, festgelegt im Pariser Klimaabkommen von 2015. Der weltgrößte CO₂-Emittent China hingegen darf bis zum Jahr 2030 seine CO₂-Emissionen weiter steigern, um sie im Anschluss wieder abzubauen. In den letzten 20 Jahren verdreifachte China seinen jährlichen CO₂-Ausstoß auf heute mehr als 9 Gigatonnen (Abb. 1). Zum Vergleich: Die gesamte EU emittiert derzeit 3,5 Gigatonnen pro Jahr. Weltweit werden derzeit 1600 Kohlekraftwerke in 62 Ländern neu gebaut oder erweitert. Es ist klar, dass nur gemeinschaftliche internationale Bemühungen eine spürbare Reduktion der globalen CO₂-Emissionen bewirken können. Nationale Alleingänge gehen zu Lasten der internationalen Wettbewerbsfähigkeit und bringen letztendlich kaum einen Nutzen für die Atmosphäre. Ein weltweiter Handel von Emissionszertifikaten wäre das Gebot der Stunde.

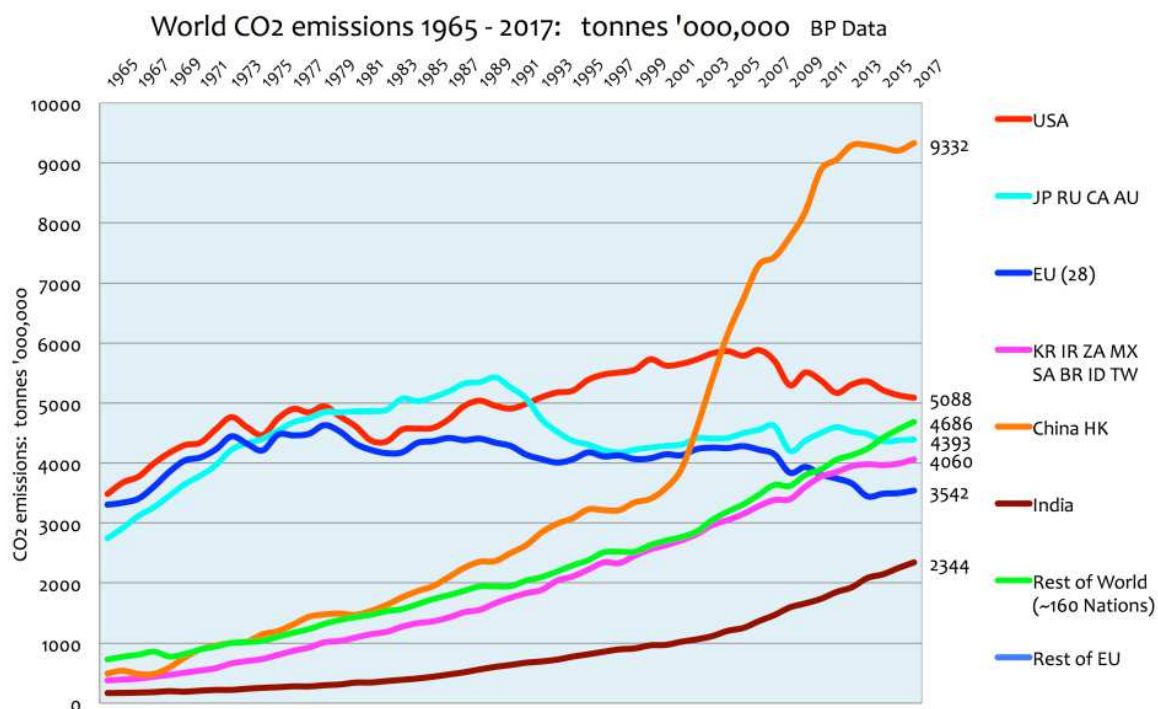


Abbildung 1: Entwicklung der CO₂-Emissionen seit 1965, aufgeschlüsselt nach Ländern und Regionen. Quelle: BP Statistical Review of World Energy 2018.

Politische Maßnahmen

Jeder politische Lenkungsversuch hinsichtlich der nationalen Energieerzeugung muss dem Nachhaltigkeitsprinzip entsprechen. Veränderungen müssen nicht nur ökologischen Ansprüchen genügen, sondern auch in sozialer und wirtschaftlicher Hinsicht nachhaltig sein. Klimaschutz führt zunächst einmal zu höheren Kosten und muss in der Bevölkerung Akzeptanz finden. Die heutige Belastung der Stromkunden beläuft sich allein durch das EEG bereits auf mehr als 27 Milliarden € /pro Jahr, Belastungen durch die Öko-Steuer im Bereich der Mobilität treten hinzu.

Die volkswirtschaftlich effektivste Lenkung zur CO₂-Vermeidung erfolgt über marktwirtschaftliche Mechanismen, die alle Beteiligten am Markt stimulieren sollen, die Emissionen dort zu senken, wo es am kostengünstigsten und effizientesten ist. Am geeignetsten ist der internationale Emissionsrechtehandel, ein Instrument das 2005 in der EU gesetzlich eingeführt wurde. Überschreitet ein CO₂-Emittent seine Höchstmenge, so kann er flexibel zusätzliche frei handelbare Emissionsrechte dazukaufen, wobei der Preis variabel ist und durch die Nachfrage bestimmt wird. Mittlerweile ist der Zertifikatspreis auf über 20 € /t angestiegen (Abb. 2). Eine gesonderte CO₂-Besteuerung ist nicht notwendig, da jedes europäische Vermeidungsziel mit dem Emissionshandel kosteneffizient erreicht werden kann (Weimann, 2019). Mittel- bis langfristig wäre jedoch ein weltweiter Emissionshandel erstrebenswert.

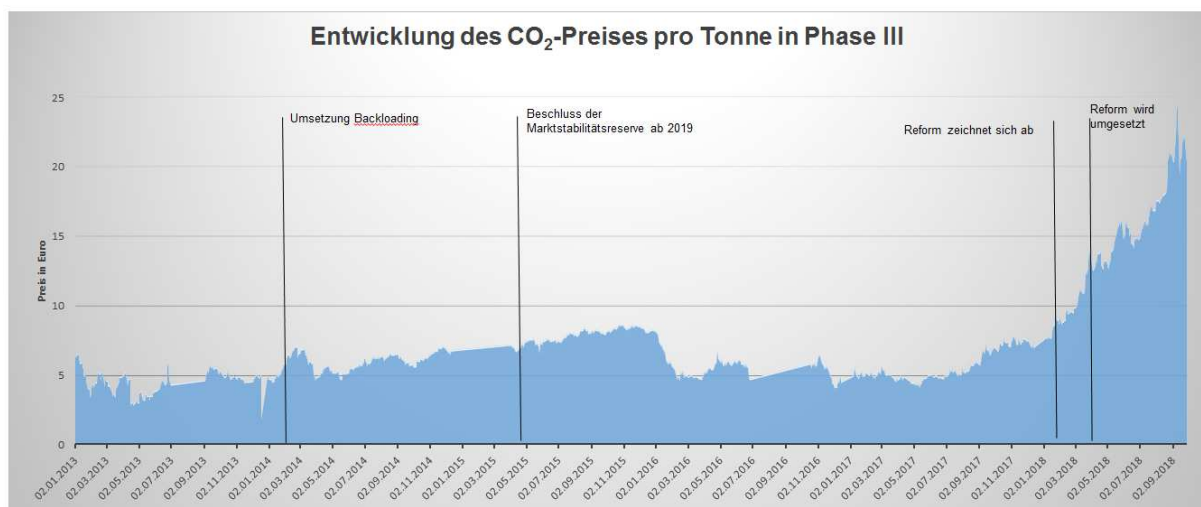


Abbildung 2: Entwicklung des CO₂-Preises pro Tonne im europäischen Emissionshandel. Aus Weimann (2019).

Eine Reihe von Ländern hat nationale CO₂-Steuern eingeführt. Hierbei handelt es sich vor allem um Länder, die nur eine geringe oder keine Braunkohle- und Steinkohleförderung besitzen, denen die Maßnahme also entsprechend leicht fallen. Hierzu gehören beispielsweise Frankreich, Schweden, Schweiz und Slowenien. Der große Kohleproduzent Australien hat die 2012 eingeführte Carbon Tax bereits 2014 wieder abgeschafft. Deutschland ist derzeit noch weltgrößter Produzent von Braunkohle und profitiert vom

heimischen Energieträger. Aus diesem Grund war die Entscheidung der aktuellen Regierungskoalition richtig, in dieser Legislaturperiode keine nationale CO₂-Steuer einzuführen, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten und weitere Kostenexplosionen zu vermeiden. Dies sollte auch in Zukunft vermieden werden. Bereits jetzt zahlen deutsche Kunden gemeinsam mit Dänemark die höchsten Strompreise in Europa. Etliche große Öl- und Gaskonzerne wie z.B. Shell, ExxonMobil, BP, Total, Eni oder Equinor setzen sich für die Einführung von nationaler und internationaler CO₂-Besteuerung ein. Die Firmen sind Anbieter von Erdgas, welches pro erzeugter Energieeinheit nur halb so viel CO₂ emittiert wie die Kohleverbrennung. Erdgas ist ein wichtiger Übergangenergieträger der globalen Energiewende, da momentan noch kein anderer kohlenstoffarmer Energieträger in Sicht ist, der in großen Mengen und zu bezahlbaren Preisen zur Verfügung stünde und zudem grundlastfähig und lagerbar ist. Neben dem Klimaschutz haben die Öl- und Gasfirmen naturgemäß ein großes Interesse daran, den Marktanteil der Kohle zu übernehmen. Dabei erhoffen sich die Firmen langfristige Planungssicherheit für ihre Investitionen in kostenintensive Gasprojekte.

Der extremste politische Eingriff in die Energieerzeugung sind Verbote. Bedauerlicherweise hat Deutschland in jüngster Vergangenheit gleich zwei Mal davon Gebrauch gemacht. Zunächst wurde die Abschaltung der Atomkraftwerke beschlossen, ohne dass ein Land in der Welt diesem radikalen Schritt gefolgt wäre. Im Anschluss daran folgte dann die Empfehlung der Kohlekommission, aus der Kohleverstromung auszusteigen. Derart ordnungsrechtlich durchgesetzte Verbote besitzen einen starken planwirtschaftlichen Charakter und sind mit dem marktwirtschaftlichen Ansatz schwer vereinbar. Die Folgen der höheren Energiekosten und der Gefährdung der Wettbewerbsfähigkeit der Arbeitsplätze trifft insbesondere die Arbeitnehmerhaushalte in Deutschland. Der parallele Ausstieg aus Atomkraft und Kohle stellt zudem einen fragwürdigen nationalen Alleingang dar, der in einer immer mehr zusammenrückenden Welt befremdlich wirkt. Letztendlich darf auch der volkswirtschaftliche Aspekt nicht außer Acht gelassen werden. Der Ersatz der heimischen Braunkohle durch teuer importiertes Erdgas, durch Stromimporte oder gar durch teurere erneuerbare Energieträger plus exorbitant hohe Speicherkosten wird in Deutschland zusätzliche Kosten verursachen. Andere Kohleländer sind diesen Schritt nicht gegangen und werden ihn wohl auch in absehbarer Zeit nicht gehen. Das sich anbahnende Verbot der Kohle in Deutschland macht auch die Einführung einer nationalen CO₂-Steuer auf absehbare Zeit überflüssig, da durch das Kohleverbot eine zusätzliche marktwirtschaftliche Stimulation eines Wechsels von der Kohle zum Erdgas nicht erforderlich ist.

Technologische und physikalische Realitäten anerkennen

Ein wichtiger Grundpfeiler jeglicher Energiepolitik muss die Versorgungssicherheit zu akzeptablen Preisen sein. Es ist gut, Ambitionen beim Aufbau erneuerbaren Energien zu haben, insbesondere weil die Reserven von Öl, Erdgas und Kohle endlich sind und ein gewichtiger Teil hiervon auch importiert werden muss. Bei allen ehrgeizigen Bemühungen müssen jedoch auch die derzeitigen technologischen Möglichkeiten sowie physikalische Realitäten anerkannt werden. Aufgrund der starken Volatilität erneuerbarer Energien muss parallel ein grundlastfähiges Energiesystem vorgehalten werden, das zu Zeiten begrenzten Wind- und Sonnenangebots (während sogenannter Dunkelflauten) die gesamte Energieversorgung Deutschlands über Tage hinweg übernehmen kann. Da es momentan leider noch immer keine geeigneten Energiespeicherformen gibt, die überproduzierten Ökostrom in ausreichender Menge in die Zukunft „hinüberretten“ könnten, müssen

konventionelle Energieträger die Grundlast sichern, bis eine technologische Lösung gefunden ist. Die Politik ist daher gut beraten, die Forschungsbemühungen bei der Suche nach geeigneten Speichern, z.B. im Bereich des Wasserstoffs oder der „Grünen Gasen“, intensiv zu fördern und wohldosierte Innovationsanreize zu setzen.

Der großmaßstäbliche Ersatz der konventionellen Grundlastenergie kann jedoch realistischerweise erst dann vollumfänglich in sinnvoller Weise angegangen werden, wenn bezahlbare Ersatztechnologien zur Verfügung stehen. Langfristige politische Planungen über viele Jahrzehnte hinweg sollten daher möglichst flexibel gehalten werden und auf Basis eines Energiemix geschehen, mit der Möglichkeit jederzeit den Wechsel vornehmen zu können, sobald dies technisch möglich wird. Technischer Fortschritt lässt sich lediglich stimulieren jedoch nicht erzwingen. Dies wird am Beispiel der Kernfusion klar, die seit Jahrzehnten mit hohen Summen – zu Recht – international gefördert wird, jedoch noch immer keinen Durchbruch erzielen konnte. Es wäre wichtig, diesen Realismus bei der politischen Planung der weiten Zukunft stets im Hinterkopf zu behalten.

Das Ausfüllen aufreißender Grundlastversorgungslücken in Deutschland durch Stromimporte aus dem Ausland macht selbstredend keinen Sinn. Deutschlands Vorreiterrolle ist gut gemeint und als Vorbildfunktion gedacht, bleibt aber für das Weltklima wirkungslos, wenn andere Großemittenten nicht mitziehen (Lomborg, 2016). Insofern sollte Deutschland eine gefährliche Selbstüberschätzung vermeiden und verstärkt internationale Lösungen suchen (BDI, 2017). Ein nationaler Alleingang führt lediglich zu einer Verlagerung der fossilen Stromerzeugung und emissionsintensiven Produktion an Standorte ins nicht-CO₂-besteuerte Ausland (Carbon Leakage, „graue Emissionen“).

Nicht übersehen werden sollten divergierende Interessen und Wettbewerbs-Schiefen bei den internationalen Verhandlungen. So werden die Profiteure einer Dekarbonisierung bereits aus purem nationalem Interesse eine schärfere Gangart vorschlagen. Hierzu gehören beispielsweise Norwegen, Russland und Qatar, die wichtige Lieferländer für Erdgas sind, sowie Frankreich, das einen sehr großen Anteil seiner Stromerzeugung durch Atomkraft sichert.

Höhe der verursachten Klimaschäden

Klimaschadensermittlung

Mithilfe von Computermodellen wird die Höhe der Schäden geschätzt, die der Gesellschaft durch Treibhausgasemissionen und dem daraus resultierenden Klimawandel entstehen. In einer kürzlichen Studie kam das Umweltbundesamt auf einen Klimaschadenswert von 180 Euro pro Tonne CO₂ (UBA, 2018). Drei Jahre zuvor hatte Edenhofer (2015) einen Wert von US\$ 150 pro Tonne CO₂ berichtet. Ricke et al. (2018) nehmen gar einen globalen Median von 417 US\$ pro Tonne CO₂ an. Die auch als „soziale Kosten des Kohlenstoffs“ (social cost of carbon) bezeichneten Schäden werden in der Regel mithilfe von einem von drei Modellen geschätzt (DICE, FUND, PAGE), in denen die physikalischen Grundlagen mit ökonomischen Aspekten verbunden werden (Abb. 3) (Carbon Brief, 2019). Das darin jeweils enthaltene „Klimamodul“ stellt ein stark vereinfachtes Klimamodell dar, das seinerseits mit komplexeren Klimamodellen kalibriert wird (NAP, 2017). Die Qualität der Schadensabschätzung ist daher direkt abhängig von der Qualität der Klimamodelle.

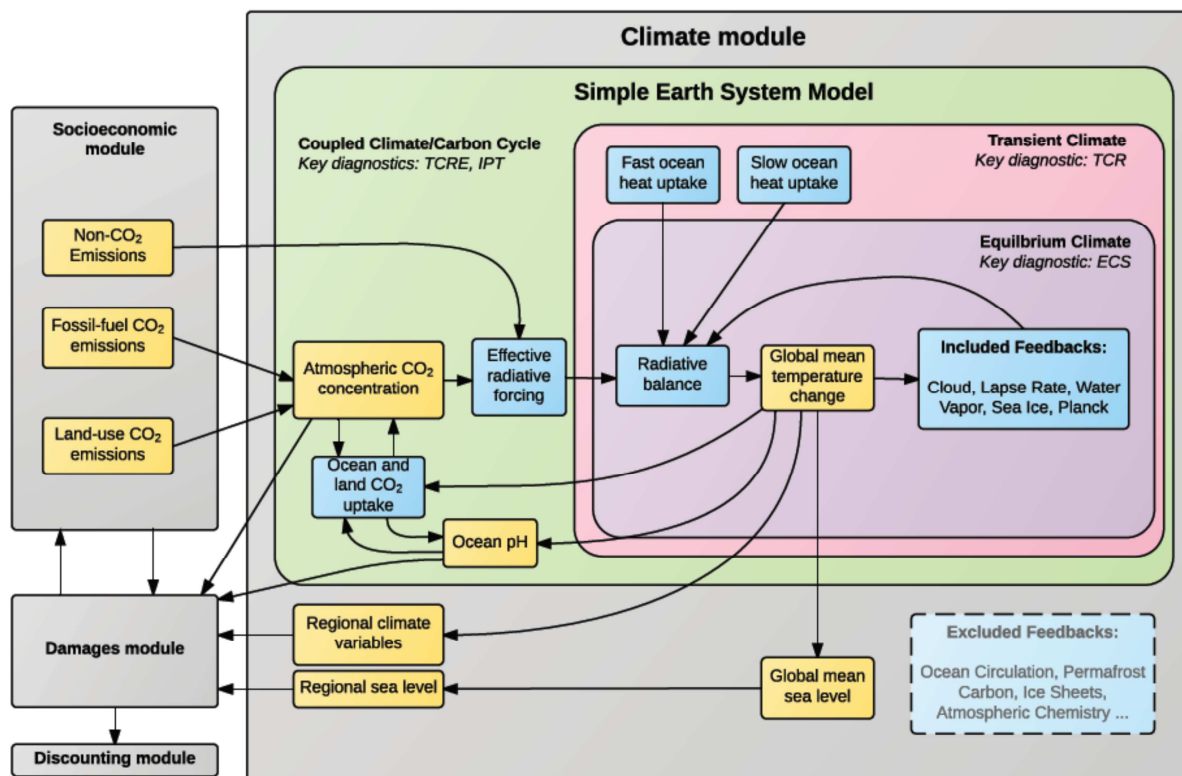


Abbildung 3: Konzeptioneller Aufbau eines Klimamoduls bei der CO₂-Schadensberechnung. Quelle: NAP (2017)

Klimamodelle mit starken Defiziten

Eine Vielzahl von Arbeiten konnte in den letzten Jahren zeigen, dass Klimamodelle noch enorme Defizite besitzen, so dass das hieraus geschätzte Klimaschadensniveau grundsätzlich größten Unsicherheiten unterliegt. Dies wurde erst kürzlich wieder deutlich, als der IPCC im Rahmen seines Sonderberichts zum 1,5-Gradziel das verbleibende CO₂-Budget schlagartig um 420 Gigatonnen CO₂ anhub, nachdem die „CO₂-Uhr“ laut früheren Angaben im 5. Klimazustandsbericht eigentlich bereits abgelaufen und auf Null stehen sollte (MCC, 2018). Auf diese Weise wurden der Weltbevölkerung quasi „über Nacht“ weitere 10 Jahre an CO₂-Emissionen zugestanden, bevor die 1,5-Grad-Erwärmungsmarke überschritten wäre. Laut Berechnungen von Millar et al. (2017) könnte das verbleibende CO₂-Budget sogar noch höher sein und 20 Jahre umfassen (Klimaretter.info, 2017). Derartige Prognoseschwächen tragen nicht gerade dazu bei, das Vertrauen in die IPCC-Modelle zu stärken.

Ähnlich unsicher ist die Zuordnung (Attribution) der bisher beobachteten Erwärmung seit Beginn der Industrialisierung. Der kürzliche IPCC-Spezialbericht zum 1,5-Grad-Ziel geht davon aus, daß die Erwärmung vollständig anthropogenen Ursprungs sei. Im Gegensatz hierzu räumt ein nahezu zeitgleich veröffentlichter Klimabericht der Schweiz den natürlichen Klimafaktoren deutlich mehr Raum ein, welche bis zur Hälfte der im Land beobachteten Erwärmung der letzten 100 Jahre verursacht haben könnte (CH2018, 2018). Auf die Frage, wie die anthropogenen und natürlichen Anteile an der globalen Erwärmung in industrieller

Zeit verteilt waren, gab der bekannte Kieler Klimaforscher Prof. Mojib Latif 2012 in einem Zeitungsinterview an: „*Es ist ein Mix aus beidem. Klar ist, dass der Mensch über die Hälfte des Temperaturanstiegs seit Beginn der Industrialisierung zu verantworten hat*“ (Neue Osnabrücker Zeitung, 2012).

Prognoseschwächen offenbarten die Klimamodelle auch während der letzten 20 Jahre, wobei keines der Modelle die starke Abbremsung der Erwärmung ab der Jahrtausendwende prognostiziert hatte. Santer et al. (2017) verorteten einen Teil der fehlenden Erwärmung in natürlichen Ozeanzyklen, die offenbar in den Modellen unterschätzt wurde. Auch nach Abzug dieser Komponente bleibt immer noch ein Rest unrealisierter Wärme, deren Ursache den Autoren weiterhin unklar ist. Santer et al. (2017) nehmen an, dass die Klimaantriebe in den Modellgleichungen systematische Schwächen aufweisen. Große Defizite in den Klimamodellen offenbaren sich nun auch bei den Aerosolen. Eine 35-köpfige Schwebstoff-Forscherguppe um Florent Malavelle konnte zeigen, dass die Kühlwirkung von Schwefeldioxid-Aerosolen viel geringer ist, als in den gängigen Klimamodellen angenommen (Malavelle et al., 2017). Dadurch muss nun wohl auch die Erwärmungswirkung des CO₂ nach unten korrigiert werden, da das Schwefeldioxid in früheren Modellen eine wichtige Kühlfunktion für überschüssige Wärme des CO₂ innehatte.

Deutschlands wohl bekanntester Klimamodellierer, Prof. Jochem Marotzke vom Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg, warnte in einem kürzlichen Paper, dass selbst schmerzhaft Anstrengungen zur CO₂-Reduktion in den kommenden zwei Jahrzehnten möglicherweise kaum einen Einfluss auf das Klima haben werden (Marotzke, 2019). Anhand von Klimamodellen simulierte Marotzke den globalen Temperaturverlauf bis 2035 und verwendete einmal einen konventionellen Emissionsverlauf (Szenario RCP 4.5), und einmal ein politisch reduziertes Emissionsszenario. Sein Fazit: Mit hoher Wahrscheinlichkeit wird wohl kein Unterschied zu bemerken sein, da die natürliche Klimavariabilität in diesen Zeitmaßstäben die Oberhand behält. Marotzke sieht eine große Kommunikations-Herausforderung auf die Wissenschaftler zukommen, auf sie sich selbstredend auch die Politik vorbereiten sollte.

Auch bei den Niederschlägen zeigen sich bei den Klimamodellen große Probleme. Laut DeAngelis et al. (2015) überschätzen die gängigen Modelle die Zunahme des globalen Niederschlags systematisch um 40%. Auch andere Autoren bemängeln enorme Diskrepanzen zwischen simulierten und real beobachteten Regentrends (z. B. Bartlein et al., 2017; Bothe et al., 2019; Coats et al., 2016; Jin and Wang, 2017; Prasanna, 2016; Saha et al., 2014; Yuan and Zhu, 2018), so dass folglich auch Klimaschadensberechnungen auf Modellbasis nicht robust sein können.

Unvollständige Validierung der Klimamodelle

Die Klimaprognosen bis zum Jahr 2100 basieren auf theoretischen Klimasimulationen. Um die Verlässlichkeit der Simulationen zu gewährleisten, müssen die entsprechenden Klimamodelle zunächst an der bekannten Klimaentwicklung geeicht werden. Die Modelle müssen in einer sogenannten Rückwärtsmodellierung (englisch: Hindcast, History Match) zeigen, dass sie die gemessene bzw. paläoklimatologisch rekonstruierte Temperaturgeschichte reproduzieren können. Während die Erwärmung der letzten 150 Jahre von den Modellen in der Regel ohne größere Probleme dargestellt werden kann, konnten die vorindustriellen Wärmephasen bisher nicht zufriedenstellend reproduziert werden. Dies räumt auch der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

unumwunden in seinem letzten Klimabericht in Bezug auf die Mittelalterliche Klima-anomalie (MCA) ein (Kapitel 5.3.5 in IPCC, 2013). Die schlechte Reproduktionsleistung der Klimamodelle für die Zeit vor der Kleinen Eiszeit wurde in zahlreichen Fachpublikationen festgestellt und bemängelt (z.B. Büntgen et al., 2017; Marcott et al., 2013; Zhang et al., 2017).

Bei näherer Betrachtung verwundert es jedoch kaum, dass die Modelle die vorindustriellen natürlichen Klimaschwankungen nicht reproduzieren können. In den Simulationen geht der Einfluss natürlicher Klimafaktoren bereits vom Ansatz her gegen Null (Abb. 4). Allenfalls wird den vorindustriellen Simulationen ein gewisses Maß an unsystematischem Rauschen zugebilligt. Angesichts der bedeutenden systematischen Temperaturschwankungen in vorindustrieller Zeit deutet vieles auf einen klassischen Ansatzfehler in den Modellierungen hin. Angesichts der mangelhaften Kalibrierung der Klimamodelle an den vorindustriellen Wärmephasen sollten Ergebnisse aus den Klimasimulationen bis zur endgültigen Klärung der enormen Diskrepanzen mit äußerster Vorsicht behandelt werden.

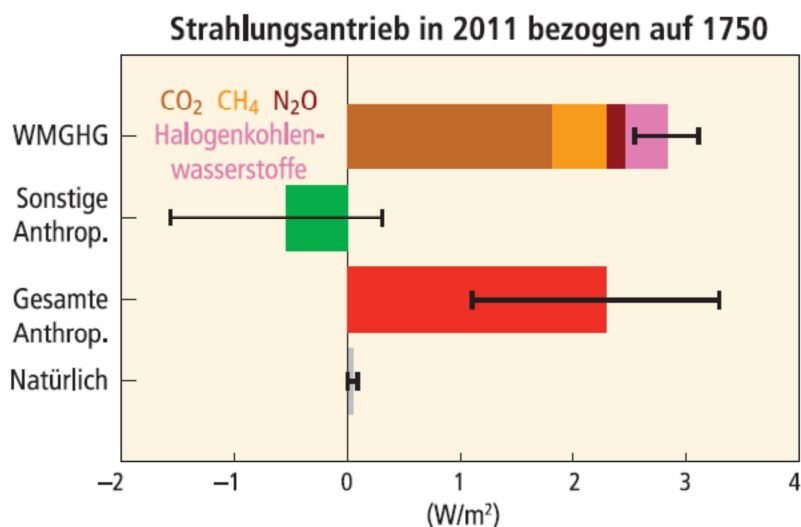


Abb. 4: Vom IPCC angenommene Bedeutung anthropogener und natürlicher Klimafaktoren, ausgedrückt als Strahlungsantrieb während der industriellen Ära (1750–2011). WMGHG=gut durchmischte Treibhausgase (well mixed greenhouse gases). Abbildung aus IPCC (2014).

Geringere Klimasensitivität

Das Treibhausgas CO₂ wirkt erwärmend. Der genaue Erwärmungsbetrag ist jedoch noch immer schlecht bekannt und wird vom IPCC seit seinem ersten Klimabericht 1990 im Bereich von 1,5-4,5°C pro CO₂-Verdopplung vermutet. Die für die CO₂-Schadensberechnung verwendeten Klimamodelle sparen den unteren Möglichkeitsbereich der CO₂-Klimasensitivität (equilibrium climate sensitivity, ECS) aus und umfassen lediglich die Spanne von 2,0-4,5°C pro CO₂-Verdopplung (Carbon Brief, 2019). Hierdurch werden die Schadenssummen künstlich aufgebläht. Dies ist umso bedauerlicher, da mittlerweile vieles darauf hindeutet, dass der reale Erwärmungswert des CO₂ wohl genau dort im unteren Teil des Spektrums zu verorten ist. Insbesondere der Bereich von 1,6-2,2°C findet viele Unterstützer in der Fachwelt

(Lewis and Curry, 2015; Mauritsen and Pincus, 2017; Mauritsen and Stevens, 2015; Otto et al., 2013). Die meisten Schäden werden in den Modellen jedoch für die oberen Bereiche der CO₂-Klimasensitivität errechnet, da die Schadensverteilung nichtlinear verteilt ist und schiefssymmetrisch vor allem bei hohen Temperaturen Schäden generiert (Carbon Brief, 2019; Schleussner et al., 2016).

Angesehene Klimawissenschaftler wie Reto Knutti und Gabriele Hegerl scheinen die Öffentlichkeit bereits auf die bevorstehende Abwärts-Revision des Wertes der CO₂-Klimasensitivität vorzubereiten und erklären, dass die Klimaschutzbemühungen auch bei niedrigeren Werten auf jeden Fall fortzusetzen seien (Knutti et al., 2017). Dies ist nur im Prinzip richtig, denn es sollte dabei nicht außer Acht gelassen werden, dass niedrigere Werte das Schadensniveau drastisch herabsetzen und es mehr Zeit für eine nachhaltigere Planung der vorzunehmenden Maßnahmen gibt.

Fazit

Klimapolitik ist eine besondere Herausforderung für alle Beteiligten. Der Umgang mit vielfältigen Unsicherheiten, enormer Interdisziplinarität, hoher Internationalität sowie Zeitmaßstäben jenseits der eigenen Lebensspanne ist ungewohnt und schwierig. Noch ist unbekannt, ob oder wann bezahlbare kohlenstofffreie Grundlast-Energieträger, Energiespeicherung und CO₂-Lagermöglichkeiten im großen Maßstab zur Verfügung stehen werden. Gleichzeitig entwickelt sich auch das wissenschaftliche Klimaverständnis immer weiter und stellt sich heute deutlich weniger dramatisch dar, als noch vor einem Jahrzehnt. Mittlerweile deutet vieles darauf hin, dass die Erwärmungswirkung des CO₂ eher in der unteren Hälfte des vom Weltklimarat IPCC genannten Unsicherheitsbereichs von 1,5-4,5°C pro CO₂-Verdopplung liegt. Entsprechend geringer fallen die angenommenen CO₂-Klimaschäden aus. Überhaupt scheinen frühere Schadensberechnungen stark aufgebläht und wenig robust zu sein, da sich die bei der Ermittlung verwendeten Klimamodelle in vielerlei Hinsicht als wenig realistisch herausgestellt haben, so dass den Berechnungen nur geringes Vertrauen geschenkt werden kann.

Angesichts noch immer fehlender Lösungen für kohlenstofffreie Energiegrundlastträger und Speicherung wird eine CO₂-Bepreisung im Stromsektor momentan vor allem den Wechsel von Kohle zu Erdgas stimulieren, wobei Erdgas im Vergleich zur Kohle pro erzeugter Energieeinheit lediglich halb so viel CO₂-Emissionen verursacht. Der in Deutschland durch Verbot geplante Ausstieg aus der Kohle macht eine marktwirtschaftliche Lenkung über eine zusätzliche CO₂-Besteuerung in Deutschland de facto überflüssig. Auf europäischer Ebene kann das gemeinschaftliche CO₂-Vermeidungsziel kosteneffizient mit dem bereits bestehenden Emissionshandel erreicht werden.

Hauptaufgabe der Politik sollte es nun sein, energietechnologischen Fortschritt mithilfe von Forschungsförderung zu stimulieren. Eine vollständige Dekarbonisierung bleibt solange illusorisch, bis technische Ersatzlösungen vorliegen. Selbst eine scharfe CO₂-Bepreisung kann diesen technischen Durchbruch nicht erzwingen, wie am Beispiel der langjährigen Kernfusionsforschung deutlich wird. Eine Konzentration auf das derzeit realistisch Machbare sollte Priorität haben, gerade unter Berücksichtigung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands.

Klimapolitik erfordert Augenmaß. Politische Entscheider sollten sich nicht von krassen Katastrophenszenarien emotional treiben lassen, die sich bei näherem Hinsehen als maßlos überzogen darstellen. Maßnahmen sollten nicht nur ökologisch nachhaltig sein, sondern

auch einer sozialen und wirtschaftlichen Nachhaltigkeit genügen (Lomborg, 2016). Die öffentliche Klimadiskussion ist momentan leider in einer extremen Schieflage und wird medial von einigen wenigen Akteuren dominiert. Die schweigende Mehrheit der Fachkollegen bleibt unbeachtet. Es wäre wichtig, dass die Politik mehr öffentliche Foren schafft, in denen auch kontroverse klimawissenschaftliche Sachverhalte nüchtern und ergebnisoffen unter Beteiligung aller wissenschaftlicher Meinungen diskutiert werden können.

Zur Person

Sebastian Lüning studierte Geologie/Paläontologie an der Universität Göttingen. Seine Promotion und Habilitation in diesem Fach erlangte er an der Universität Bremen. Für Vordiplom, Doktorarbeit und Habilitation erhielt Lüning jeweils Studienpreise. Während seiner Postdoc-Zeit arbeitete er zu ökologischen Sauerstoffmangelsituationen während der Erdgeschichte. Seit 2007 ist Lüning hauptberuflich in der konventionellen Energiebranche tätig. Die Beschäftigung mit dem Thema Klimawandel erfolgt ausschließlich in privater Funktion, in Fortsetzung seiner langjährigen Vollzeit-Forschertätigkeit. Diese Forschung ist vollständig unabhängig und wurde weder von der Industrie beauftragt, noch von ihr gefördert. Im Jahr 2012 veröffentlichte Lüning zusammen mit Fritz Vahrenholt das Buch „Die kalte Sonne“, in dem sie für eine stärkere Berücksichtigung der natürlichen Klimaantriebe plädierten. Viele der damals vorgeschlagenen Kritikpunkte wurden mittlerweile von den Klimawissenschaften anerkannt, z.B. die systematische Rolle der 60-jährigen Ozeanzyklen, die ursprünglich überhöht angesetzte Kühlwirkung der Aerosole sowie das Auseinanderklaffen von realer und simulierter Klimaentwicklung. Eines der im Buch vorgestellten Szenarien beschreibt eine CO₂-Klimasensitivität von 1,5°C, was dem unteren Rand der IPCC-Spanne von 1,5-4,5°C entspricht. Die Fachdiskussion der letzten Jahre deutet an, dass dieses Niedrig-Szenario durchaus bald konsensfähig werden könnte. Sebastian Lüning ist mit dem Institut für Hydrographie, Geoökologie und Klimawissenschaften (IFHGK) in der Schweiz assoziiert und wirkte als offizieller Gutachter an den IPCC-Sonderberichten zum 1,5 Grad-Ziel sowie zu den Ozeanen und Kryosphäre mit. Weitere Informationen auf www.luening.info.

Literatur

- Bartlein, P. J., Harrison, S. P., and Izumi, K., 2017, Underlying causes of Eurasian midcontinental aridity in simulations of mid-Holocene climate: *Geophysical Research Letters*, v. 44, no. 17, p. 9020-9028.
- BDI, 2017, Verschärfter Emissionshandel gefährdet Wettbewerbsfähigkeit der Industrie: <https://bdi.eu/artikel/news/verschaeftter-emissionshandel-gefaehrdet-wettbewerbsfaehigkeit-der-industrie/>.
- Bothe, O., Wagner, S., and Zorita, E., 2019, Inconsistencies between observed, reconstructed, and simulated precipitation indices for England since the year 1650 CE: *Climat of the Past*, v. 15, p. 307-334.
- Büntgen, U., Krusic, P. J., Verstege, A., Sangüesa-Barreda, G., Wagner, S., Camarero, J. J., Ljungqvist, F. C., Zorita, E., Oppenheimer, C., Konter, O., Tegel, W., Gärtner, H., Cherubini, P., Reinig, F., and Esper, J., 2017, New Tree-Ring Evidence from the Pyrenees Reveals Western Mediterranean Climate Variability since Medieval Times: *Journal of Climate*, v. 30, no. 14, p. 5295-5318.
- Carbon Brief, 2019, The social cost of Carbon: <https://www.carbonbrief.org/qa-social-cost-carbon>.

- CH2018, 2018, Climate Scenarios for Switzerland, Zürich, Technical Report, National Centre for Climate Services.
- Coats, S., Smerdon, J. E., Cook, B. I., Seager, R., Cook, E. R., and Anchukaitis, K. J., 2016, Internal ocean-atmosphere variability drives megadroughts in Western North America: *Geophysical Research Letters*, v. 43, no. 18, p. 9886-9894.
- DeAngelis, A. M., Qu, X., Zelinka, M. D., and Hall, A., 2015, An observational radiative constraint on hydrologic cycle intensification: *Nature*, v. 528, p. 249.
- Edenhofer, O., 2015, King Coal and the queen of subsidies: *Science*, v. 349, no. 6254, p. 1286-1287.
- IPCC, 2013, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 1535 p.:
- , 2014, Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC): https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutch/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf, p. 1-145.
- Jin, Q., and Wang, C., 2017, A revival of Indian summer monsoon rainfall since 2002: *Nature Climate Change*, v. 7, p. 587.
- Klimaretter.info, 2017, CO₂-Budget könnte länger reichen: <http://www.klimaretter.info/forschung/nachricht/23684-co2-budget-koennte-laenger-reichen>.
- Knutti, R., Rugenstein, M. A. A., and Hegerl, G. C., 2017, Beyond equilibrium climate sensitivity: *Nature Geoscience*, v. 10, p. 727.
- Lewis, N., and Curry, J. A., 2015, The implications for climate sensitivity of AR5 forcing and heat uptake estimates: *Climate Dynamics*, v. 45, no. 3-4, p. 1009-1023.
- Lomborg, B., 2016, Impact of Current Climate Proposals: *Global Policy*, v. 7, no. 1, p. 109-118.
- Malavelle, F. F., Haywood, J. M., Jones, A., Gettelman, A., Clarisse, L., Bauduin, S., Allan, R. P., Karset, I. H. H., Kristjánsson, J. E., Oreopoulos, L., Cho, N., Lee, D., Bellouin, N., Boucher, O., Grosvenor, D. P., Carslaw, K. S., Dhomse, S., Mann, G. W., Schmidt, A., Coe, H., Hartley, M. E., Dalvi, M., Hill, A. A., Johnson, B. T., Johnson, C. E., Knight, J. R., O'Connor, F. M., Partridge, D. G., Stier, P., Myhre, G., Platnick, S., Stephens, G. L., Takahashi, H., and Thordarson, T., 2017, Strong constraints on aerosol–cloud interactions from volcanic eruptions: *Nature*, v. 546, p. 485.
- Marcott, S. A., Shakun, J. D., Clark, P. U., and Mix, A. C., 2013, A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years: *Science*, v. 339, no. 6124, p. 1198-1201.
- Marotzke, J., 2019, Quantifying the irreducible uncertainty in near-term climate projections: *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, v. 10, no. 1, p. e563.
- Mauritsen, T., and Pincus, R., 2017, Committed warming inferred from observations: *Nature Clim. Change*, v. advance online publication.
- Mauritsen, T., and Stevens, B., 2015, Missing iris effect as a possible cause of muted hydrological change and high climate sensitivity in models: *Nature Geosci*, v. 8, no. 5, p. 346-351.
- MCC, 2018, CO₂-Uhr des MCC auf neusten Stand gebracht: Pressemitteilung des Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change vom 8.11.2018, <https://www.mcc-berlin.net/news/meldungen/meldungen-detail/article/co2-uhr-des-mcc-auf-neusten-stand-gebracht.html>.
- Millar, R. J., Fuglestvedt, J. S., Friedlingstein, P., Rogelj, J., Grubb, M. J., Matthews, H. D., Skeie, R. B., Forster, P. M., Frame, D. J., and Allen, M. R., 2017, Emission budgets and pathways consistent with limiting warming to 1.5 °C: *Nature Geoscience*, v. 10, p. 741.
- NAP, 2017, Valuing Climate Damages: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. The National Academies Press.

- Neue Osnabrücker Zeitung, 2012, Klimaforscher Latif: Biosprit E10 ist Blödsinn: Artikel vom 12.9.2012, <https://www.noz.de/deutschland-welt/niedersachsen/artikel/98729/klimaforscher-latif-biosprit-e10-ist-blodsinn>.
- Otto, A., Otto, F. E. L., Boucher, O., Church, J., Hegerl, G., Forster, P. M., Gillett, N. P., Gregory, J., Johnson, G. C., Knutti, R., Lewis, N., Lohmann, U., Marotzke, J., Myhre, G., Shindell, D., Stevens, B., and Allen, M. R., 2013, Energy budget constraints on climate response: *Nature Geosci*, v. 6, no. 6, p. 415-416.
- Prasanna, V., 2016, Assessment of South Asian Summer Monsoon Simulation in CMIP5-Coupled Climate Models During the Historical Period (1850–2005): *Pure and Applied Geophysics*, v. 173, no. 4, p. 1379-1402.
- Ricke, K., Drouet, L., Caldeira, K., and Tavoni, M., 2018, Country-level social cost of carbon: *Nature Climate Change*, v. 8, no. 10, p. 895-900.
- Saha, A., Ghosh, S., Sahana, A. S., and Rao, E. P., 2014, Failure of CMIP5 climate models in simulating post-1950 decreasing trend of Indian monsoon: *Geophysical Research Letters*, v. 41, no. 20, p. 7323-7330.
- Santer, B. D., Fyfe, J. C., Pallotta, G., Flato, G. M., Meehl, G. A., England, M. H., Hawkins, E., Mann, M. E., Painter, J. F., Bonfils, C., Cvijanovic, I., Mears, C., Wentz, F. J., Po-Chedley, S., Fu, Q., and Zou, C.-Z., 2017, Causes of differences in model and satellite tropospheric warming rates: *Nature Geoscience*, v. 10, p. 478.
- Schleussner, C. F., Lissner, T. K., Fischer, E. M., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., Rogelj, J., Childers, K., Schewe, J., Frieler, K., Mengel, M., Hare, W., and Schaeffer, M., 2016, Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1.5 °C and 2 °C: *Earth Syst. Dynam.*, v. 7, no. 2, p. 327-351.
- UBA, 2018, Hohe Kosten durch unterlassenen Umweltschutz: Pressemitteilung des Umweltbundesamtes vom 20.11.2018, <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/hohe-kosten-durch-unterlassenen-umweltschutz>.
- Weimann, J., 2019, Ist die Energiewende kostengerecht?: Vortrag Kronberger Kreis, 8. Februar 2019, https://www.stiftung-marktwirtschaft.de/fileadmin/user_upload/Tagungsunterlagen/2019_02_08_Gut_Kaden_VII/Gut-Kaden_2019_Weimann.pdf.
- Yuan, X., and Zhu, E., 2018, A First Look at Decadal Hydrological Predictability by Land Surface Ensemble Simulations: *Geophysical Research Letters*, v. 45, no. 5, p. 2362-2369.
- Zhang, Y., Renssen, H., Seppä, H., and Valdes, P. J., 2017, Holocene temperature evolution in the Northern Hemisphere high latitudes – Model-data comparisons: *Quaternary Science Reviews*, v. 173, p. 101-113.