

Neue globale CO₂-Regime als Herausforderung für die TA: Der Fall der „Complementary Currencies for Climate Change“ (4C) für CO₂-Removal-Dienstleistungen

1. Einleitung

In diesem Beitrag möchte ich ein Thema aus dem Labor der Technikfolgenforschung (TA) vorstellen, das nicht allein die Nebenfolgen technischer Lösungen, sondern auch die soziale Organisation der Handlungskoordination mit in den Blick nimmt. Gemeint sind Techniken/Technik zur Erreichung negativer Treibhausgas-Emissionen, das sogenannte „Carbon Dioxide Removal“ CDR (Smith et al. 2024).¹ „Metaphorically speaking, CDR is needed to establish a planetary waste management system in order to reduce the cumulative stock of carbon in the atmosphere“ (Edenhofer et al. 2024, S. 5). Diese Idee hat in Hinblick auf naturbasierte Methoden große Potenziale und wird gleichzeitig auch in anlagentechnischer Hinsicht weltweit experimentell erprobt. Im letzteren Fall sind die Kosten, der Energieverbrauch und der sonstige Ressourcenverbrauch signifikant (WRI 2025). Zudem wird befürchtet, dass CDR (alle) Anstrengungen zur Unterlassung von CO₂-Emissionen unterminiert beziehungsweise notwendige Transformationen verzögert (Höglund et al. 2023).

CDR in all seinen Variationen berührt viele Theorien und Methoden, die in der TA in den vergangenen Jahren diskutiert wurden, zum Beispiel Vision Assessment bei der Vorstellung neuer globaler Regime, Systemanalyse in naturwissenschaftlicher und soziologischer Hinsicht in der Analyse der Strukturen und Prozesse natürlicher, technischer und sozialer Systeme, Long-Term-Governance, auf der Suche und Bewertung nach dauerhaften Lösungen, und schlussendlich ethische Reflexionen, da moralisch aufgeladene Entscheidungen getroffen werden müssen (Stichwort: Kompensation für das Unterlassen von CO₂-Emissionen).

In diesem Beitrag möchte ich Regime des CO₂-Managements vorstellen, die als Gegenpol zu dominanten globalen Regimen der entropischen Degradation

1 Wir werden im Folgenden den Begriff des Kohlendioxids (CO₂) durchgehend verwenden, wohlwissend, dass auch andere Gase für den Treibhaus-Effekt relevant sind.

und der funktionalen Differenzierung agieren sollen (2). Diese Ideen sollen anschließend in die sachlichen, sozialen und zeitlichen Problemdimensionen eingeordnet werden, sprich Probleme der Unsicherheit langfristiger Engagements und Knappheit von Allgemeingütern, zu denen Mechanismen gefunden werden müssen, die Handlungsbereitschaft und Zielführung erlauben (3). Mit Anforderungen für weitere TA-Forschung soll der Beitrag in einem Ausblick münden (4).

2. Globale CO₂-Regime

2.1. Nicht verfügbare globale Regime

Forschungen in der Atmosphärenphysik zeichnen ein Bild von der menschlichen Zivilisation als eine Entität (System, Zivilisation, Metabolismus, Superorganismus), die Strukturen der beschleunigten entropischen Degradation, also der irreversiblen Vernutzung der vormals nutzbar gemachten Energie und Materie, geschaffen hat (Georgescu-Roegen 1986). Wenn in der Vergangenheit neue Möglichkeiten der Verfügbarmachung von Energie und Materie der natürlichen Umwelt abgerungen wurden, dann steigert sich gleichfalls die Rate des Konsums von Energie und Materie (Garrett 2012, S. 6). Während soziale Organisation und technische Innovationen die Gesamteffizienz im Verbrauch steigern (Ciotola 2023, S. 49), so hält die Nachfrage nach diesen Ressourcen Schritt. Dieser Zusammenhang ist zuerst mit dem „Jevons Paradox“ formuliert worden (Freire-González 2023). Dass die Bedingung der Möglichkeit substanzieller Effizienzsteigerungen in heutigen Zeiten in der Entwicklung von Künstlicher Intelligenz (KI) gesehen wird (DENA 2024), demonstriert diesen Zusammenhang eindrucklich, da die Verwendung dieser Technologien selbst wieder einen enormen Ressourcenverbrauch mit sich bringen.

Das andere ebenso relevante und dominante Regime ergibt sich aus der internen Differenzierung der Gesellschaft in soziale Funktionssysteme, die sich jeweils operativ abschließen, kognitiv aber offen bleiben für selektive Reize. Jedes Teilsystem stellt für das jeweils andere einen Teil einer operativ nicht erreichbaren Umwelt dar und kann nur nach eigenen Maßstäben auf Umweltereignisse reagieren. Die kommunikativen Elemente dieser Systeme werden durch spezielle Mechanismen und operative Prinzipien generiert wie binäre Codes, symbolisch generalisierte Medien, Selbst- und Fremdbeschreibungen, System-Umwelt-Beziehungen, strukturelle Kopplungen und anderes mehr (Luhmann 1997a; Luhmann 1997b). Aufgrund der internen Differenzierung der „menschlichen Zivilisation“ (Gesellschaft) lässt sich eine Reaktion „aus einem Guss“ nicht erwarten (Willke

2023; Nassehi 2024). Deshalb muss an den spezifischen Mechanismen der Funktionsbereiche angesetzt werden (Luhmann 1986, S. 122).

Meine These lautet, dass sich die Wirkungen dieser Regime – die sich zudem wechselseitig stützen – nicht außer Kraft setzen lassen. Entropische Degradation und funktionale Differenzierung sind entscheidungsförmig nicht verfügbar. Es kann ihnen allenfalls durch neue globale Regime langfristig etwas entgegengesetzt werden. Für das Wirtschaftssystem passiert dies bereits seit einiger Zeit, als ein Bestandteil eines enorm vielfältigen Regimekomplexes (Keohane/Victor 2011), in dem in der Weltgesellschaft wiederum regional unterschiedlich ausgestaltete Regime der Bepreisung von CO₂ eingeführt wurden.

2.2. CO₂-Regime zur Reduzierung von Emissionen: „The stick“

In dem sogenannten „Social Costs of Carbon“-Modell werden negative Externalitäten menschlicher Aktivitäten adressiert, die durch eine Bepreisung einen Informationswert für wirtschaftliche Transaktionen erhalten: „Polluter pays“. Akteure mit hohen CO₂-Emissionen in ihrer Geschäftigkeit müssen zum Beispiel im europäischen Regime European Union Emissions Trading System (EU-ETS) Zertifikate erwerben, die in Relation zu einer festgelegten Emissionen-Obergrenze über Zeit knapp werden. Die damit verbundene finanzielle Bürde soll bei den Teilnehmern Motivation generieren, um die eigenen Produktions- und Operationsweisen energieeffizienter und emissionsärmer zu gestalten, um Kosten zu sparen. Dieses Cap and Trade-System ist vielfach diskutiert und kritisiert worden. Der Preis für CO₂-Zertifikate sei zu gering angesetzt und erzeugen daher kaum Anreize, was in der zu langsamen und zu geringen Reduzierung von Emissionen resultiert (Green 2021). Durch die Trade-Möglichkeit ist ein Offset möglich und sorgt global für einen Wasserbett-Effekt (Perino 2018; Rosendahl 2019). Emissionen verlagern sich dorthin, wo die Besteuerung geringer ist. Als regionales Regime sorgt es für Wettbewerbsnachteile gegenüber externen Unternehmen, weshalb diese immer wieder angepasst werden müssen, zum Beispiel durch kostenlose Zuteilung von Zertifikaten für wettbewerbsintensive Branchen, einer Grenzüberschreitungssteuer (Carbon Border Adjustment Mechanism CBAM), oder ein dynamisches Zertifikaten-Management (Marktstabilitätsreserve MSR). Dennoch zeigen Untersuchungen, wie eine direkte Taxierung wirksam einen gewünschten Effekt haben kann, mit der Einschränkung, dass sehr spezielle Voraussetzungen erfüllt sein müssen (Gugler et al. 2021). Um diesem Regime der negativen Externalitäten etwas entgegenzusetzen, denken Ökonomen über die Belohnung für „positive Externalitäten“ nach (Edenhofer et al. 2024).

2.3. CO₂-Regime zur Entfernung von CO₂: „The Carrot“

Es bedarf der globalen Organisation von Anstrengungen, um die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre auf ein vorindustrielles Niveau zu bringen. Dazu müssen die Emissionen gestoppt werden, aber auch CO₂ aus der Atmosphäre entzogen werden (Edenhofer et al. 2024). Während Edenhofer und Kollegen noch recht konventionell über eine Möglichkeit der Förderung über bereits etablierte Regime nachdenken, haben die Ökonomen um Delton Chen einen viel radikaleren Vorschlag ausgearbeitet (Chen et al. 2017; Chen et al. 2019). Ihr Modell orientiert sich vornehmlich an den Unsicherheiten der Investition in CDR (zur Minderung systemischer gesellschaftlicher Risiken) und wird deshalb als „Risk Cost of Carbon“-Modell (RCC) bezeichnet. Damit ist die Karotte gemeint, die denjenigen vorgehalten werden soll, die bereit sind, langfristige Risiken einzugehen und CDR als Serviceleistung anzubieten. Dafür sollen diese eine Entlohnung pro Tonne CO₂ verdienen können, finanziert durch eine neue Währung, der Complementary Currencies for Climate Change (4C). „Global 4C is recommended because it offers a market mechanism for limiting climate systemic risk“ (Chen et al. 2017, S. 239).

Was auf den ersten Blick als ein rein geldwirtschaftlicher Koordinationsmechanismus erscheint, ist auf den zweiten anfänglich eine geldpolitische Entscheidung seitens staatlicher Zentralbanken. Die anvisierten 4C-Emissionen müssen eine Verifizierung und Validierung durch diese Einrichtungen erfahren, um Geldwert zu generieren (Wullweber 2021). Der Geldwert dieser Währung ergibt sich zudem aus der Möglichkeit, 4C in Fiatgeld umzutauschen, sodass dieses „quasimoney“ dann zu Geld wird. Wullweber (2018) zeigt diesen Mechanismus für „Schattengeld“ auf. In diesem Rahmen soll die Währung nur besitz- oder eintauschbar sein. Sie soll nicht als Kompensation für Kohlenstoffemissionen (carbon offset) genutzt werden können. Es soll kein Austausch mit Dritten erlaubt sein. Die Eintauschrate soll an den globalen (Miss-) Erfolg des CDR variabel angepasst werden (Chen et al. 2019).

Mit diesem Vorschlag rekurren die Autoren (primär) auf die Funktion eines symbolisch generalisierten Kommunikationsmediums (Geld), das die Wahrscheinlichkeit von spezifischen Interaktionen (Austausch) erhöht, ohne zu bestimmen, was, wann, durch wen oder warum ausgetauscht wird. Der Fokus liegt hier allein auf dem Akzeptieren eines Preises, oder eben nicht, entlang der zweiwertigen Codierung der Zahlung oder Nichtzahlung: „a schema of motives that is unsurpassed in simplicity and force“ (Schumpeter 2014, S. 96). Dass mit dieser Währung 4C ein neues globales CO₂-Regime eingeführt werden könnte, wird mittlerweile auch außerhalb der akademischen Welt zumindest wahrgenom-

men (van Gansbeke 2021). Für die Technikfolgenabschätzung ergeben sich unterschiedliche Problemstellungen, die im Folgenden erläutert werden sollen.

3. Dimensionen der Problematik

3.1. Sachdimension: Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre

Es gibt verschiedene Methoden zur Entfernung von Kohlendioxid (CO₂) aus der Atmosphäre. Nature-based-Ansätze umfassen Aufforstung und Wiederaufforstung oder auch die Wiederbewässerung von Moorlandschaften (Wiegandt 2024). Die CO₂-Senken an Land und in den Ozeanen zusammengenommen nahmen weiterhin etwa die Hälfte des anthropogenen CO₂-Ausstoßes in die Atmosphäre auf, obwohl sie vom Klimawandel negativ beeinflusst wurden (Friedlingstein et al. 2024). Weiterhin kann ein Bodenmanagement in der Landwirtschaft helfen, mehr CO₂ im Boden zu speichern. Mit dem Akronym BECCS (Bioenergy with carbon capture and storage) wird die Technik der Biomasse-CO₂-Entfernung und -Speicherung bezeichnet, die eine Nutzung von Pflanzenmaterial zur CO₂-Entfernung vorsieht, das dann sicher gespeichert werden soll. Daneben werden technische Großanlagen getestet, die eine Direktluftabscheidung (Direct air capture, DAC) vornehmen. Sogenannte DACCS-Technologien (Direct air carbon capture and storage) sollen in Zukunft CO₂ direkt aus der Luft filtern und unterirdisch speichern. Zusätzlich wird an Kohlenstoffmineralisierung geforscht, um chemische Reaktionen, die CO₂ in stabile Mineralien umwandeln, zu nutzen. Ozeanbasierte Ansätze wie die Förderung des Algenwachstums, um mehr CO₂ im Meer zu binden, gehören ebenso in das Spektrum von CDR.² All diese Ansätze müssen hinsichtlich ihrer Potenziale der CO₂-Entfernung aus der Atmosphäre, Garantie der permanenten Einlagerung, Energie- und Materieverbrauch, Kosten, Skalierbarkeit und zudem nach der öffentlichen Akzeptanz bewertet werden (vgl. für eine Zusammenfassung: UNEP 2023, S. 50).

Die Akzeptanzfrage wird zu einer wichtigen Variable in der Weiterentwicklung dieser Technologien, wenn CDR in den Bereich des Geoengineering abgeleitet, in dem die Unsicherheiten über nicht intendierte Folgen und das Nichtwissen über die komplexen Zusammenhänge erdrückend ist (Wagner 2023), und hinsichtlich der Frage der Erfolgskontrolle der tatsächlichen Extraktion und sicheren Einlagerung. Es müssen also erst einmal Techniken der präzisen Beob-

2 Siehe das Projekt „CDRmare“ der Deutschen Allianz Meeresforschung DAM (<https://cdrmare.de>).

achtung von CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre entwickelt werden, die einen Nachweis der Reduzierung durch menschliche Aktivitäten und des sicheren Verschlusses von Lagerstätten erlauben. Dazu werden verschiedene Methoden zur Fernbeobachtung der CO₂-Extraktion aus der Atmosphäre entwickelt, die sowohl bodengestützte als auch luft- und weltraumgestützte Technologien umfassen.

3.2. Sozialdimension: Motivation in Einklang bringen

Mit Geld im Allgemeinen und mit 4C im Speziellen soll die Unwahrscheinlichkeit der Investition in CDR verringert werden, um im globalen Maßstab innovative Unternehmungen anzustoßen. Investitionen in diese Technologien sind mit großen Unsicherheiten verbunden hinsichtlich ihres Funktionierens, ihres Return on Investment und der öffentlichen (damit auch in ihrer politischen) Akzeptanz. CDR-Services sollen zum Beispiel auch dann entlohnt werden, wenn die dauerhafte Speicherung nicht garantiert werden kann, allein um die Innovationsdynamik zu diesem Thema nicht frühzeitig abzuwürgen (Edenhofer et al. 2024). Woher bestimmt sich nun der Geldwert für eine ausreichende Motivation millionenfacher Aktivitäten?

In der soziologischen Theorie zu ökonomischen Transaktionen wird angenommen, dass sich die Motivation zum Austausch von Leistungen und Gütern nicht allein aus ihrem absoluten Wert (Nützlichkeit, Knappheit) heraus generiert, sondern zum einen durch die Beobachtung des Eigentums der anderen, auf das man keinen Zugriff hat und zum anderen aus der Einwilligung, für die Inbesitznahme im Gegenzug etwas hergeben zu wollen (Weber 1964, S. 34; Simmel 2004, S. 26). Motivation generiert sich also vorwiegend aus sozialen Beobachtungsverhältnissen des wechselseitigen Ausschlusses von der Nutzung von etwas (Paul 2002, S. 247). Daraus erklärt sich auch die paradoxe Konstituierung der Knappheit. Immer wenn die Knappheit für jemanden gemindert wird, beschränkt sich dadurch der Zugriff für andere. Knappheit ist Motiv für die Entscheidung, diese zu beseitigen, und diese Entscheidung ist wiederum Ursache für ihr erneutes Entstehen (Luhmann 1999, S. 179).

Die Gesellschaft benötigt nutzbare Energie, um ihre Basisfunktionen aufrechterhalten zu können, und – heruntergebrochen auf einzelne Akteure und Organisationen – muss dafür zahlen. Kraftstoffe und Elektrizität haben einen Preis. Die menschliche Zivilisation, mit ihren Milliarden von lebenden Organismen, benötigt eine Atmosphäre, welche aber (noch) keinen Preis hat. Nutzbare Energie muss aufwendig bereitgestellt werden durch Kapital und Arbeit, und der Zugang zu Energiequellen kann exklusiv organisiert werden (Weber 1964, S. 94).

Dritte können von der Nutzung ausgeschlossen werden. Das gilt auch für Wasser und nutzbares Land. Deren Inanspruchnahme war schon immer Motor für Abweichungen verstärkende Differenzen (Maruyama 1963). Für die Atmosphäre scheint dies weiterhin nicht zu gelten. Obwohl die Atmosphäre absolut knapp ist – und von höchster Nützlichkeit – wird diese nicht als knapp behandelt (Gómez-Baggethun 2023, S. 241). Es kann niemand von der Nutzung der Atmosphäre ausgeschlossen werden, mit der Konsequenz, dass wir diese fortwährend in ihrer chemischen Zusammensetzung zuungunsten ihrer Nützlichkeit für uns Menschen verändern.

Wir (ver-) nutzen die Atmosphäre, sind aber zunächst nicht bereit, etwas dafür herzugeben. Der Umstand, dass die Atmosphäre zwingend notwendig für das Überleben aller biologischen Lebewesen und auch nicht austauschbar gegen eine andere Ökosphäre ist, qualifiziert diese für die Bewertung der absoluten Knappheit (Baumgärtner et al. 2006). Da diese absolute Knappheit aber nicht direkt erlebbar ist, ein abstrakter, in die Zukunft gerichteter Wert bleibt, kann der Nutzen der Atmosphäre nicht in die Kalküle ökonomischen Handelns einfließen. Es muss „artifizial“ absolute in relative Knappheit gewandelt werden, um Services zum Erhalt einer brauchbaren Atmosphäre zu motivieren.

Die Herstellung von Knappheit soll, so lauten die Vorschläge der Ideengeber des 4C, an das globale „Carbon Budget“ geknüpft werden. Für die Feststellung der Gültigkeit bedarf es wiederum der Validierung durch wissenschaftliche Beobachtung (Friedlingstein et al. 2024) und im Anschluss eine politische Anerkennung in Form internationaler Abkommen, dass ein konsensuell festgelegtes Budget rechtlich verpflichtend ist.

3.3. Zeitdimension: Unsicherheit absorbieren

Die Funktionalität von CO₂-Regimen hängt von der Möglichkeit für die Beteiligten ab, über lange Zeiträume hinweg planen zu können, ohne dass damit bereits eine kollektive oder individuelle Zielerreichung garantiert wäre. Unter einem neuen Regime des 4C wären langfristige Verpflichtungen von Währungsmitteln und CO₂-Dienstleistern eine wesentliche Prämisse für den Aufbau von ausreichenden Kapazitäten für ein globales CDR. Die Absorption von Unsicherheit und der Aufbau von stabilen Erwartungen – „long-term expectation formation“ (Edenhofer et al. 2024, S. 15) – sind die wesentlichen Probleme in der Zeitdimension. Wie können Akteure sich in der Gegenwart festlegen, zu investieren, obwohl sich die Ergebnisse ihrer Bemühungen erst in Jahren und global in Dekaden als effektive CO₂-Minderung in der Atmosphäre manifestieren werden?

Die Antwort ist zu suchen in Prozessen der Selbst- und Fremdstabilisierung von Erwartungen durch neue als auch durch bereits etablierte Institutionen und Mechanismen. Die Ideengeber der 4C setzen auf einen bekannten Mechanismus der politischen Krisenbekämpfung, nämlich der „Quantitativen Lockerung“ durch die Zentralbanken, da diese als „einzige Institutionen theoretisch unbegrenzt Geldmittel bereitstellen können“ (Wullweber 2018, S. 8). Dieser Mechanismus wurde bereits zur Abmilderung der Finanzkrise im Jahr 2008 eingesetzt, als diese sich zu einer Wirtschaftskrise auszuweiten drohte. Elena Esposito argumentiert, dass Zentralbanken durch diesen politischen Akt ökonomische Stimuli setzen und die Zuversicht der Akteure am Markt stärken wollen, ohne festzulegen, wofür das „neue Geld“ zu verwenden sei (Esposito 2016). Dieser Vorgang ist im Weiteren angewiesen auf das institutionelle Absichern der Kredite durch den Internationalen Währungsfonds (IWF), indem durch dessen Mechanismus der Sonderzugriffsrechte (*special drawing rights*) auf die Währungsreserven diese Mittel überhaupt erst in den Umlauf gebracht werden könnten. Die technische Umsetzung der Zahlungen, der Nachvollziehbarkeit und Kontrolle der Transaktionen soll über sogenannte *Stablecoins* als *unit of account* gewährleistet werden. Deren Wert soll an einen externen Referenzwert gebunden werden, also dem verbleibenden globalen Carbonbudget (van Gansbeke 2021).

Der Wert der neuen Währung 4C kann nur durch ein komplexes institutionelles Arrangement abgesichert werden, das nicht nur durch ein Geflecht von Entscheidungen wirtschaftlicher und politischer Akteure bestimmt wird (Wullweber 2021, S. 13), sondern auch durch den Aufbau einer Vertrauensarchitektur (Strulik 2011). Bestandteil dieser Konstruktion sind Zurechnungsadressen der Verantwortlichkeit für die Validierung und Zertifizierung von Leistungen, die Währungsgültigkeit und Kontrolle von Transaktionen sowie der Durchsetzung und Einhaltung von *Agreements* über Budgets von Treibhausgasen in der Atmosphäre und deren globalen Allgemeingültigkeit.

4. Ausblick

Wozu benötigt man aber globale Regime wie eine neue *Complementary Currency for Climate Change*? Eine offensichtliche Antwort lautet, regionale Politikinitiativen können nur in ihrer Aggregation wirksam werden, so wie es Keohane und Victor (2011) im Zusammenhang mit der mühevollen Genese des aktuellen Regimekomplexes nachvollzogen haben. Dieser ist in seiner Zielerreichung suboptimal, aber politisch in der Gemengelage vieler unterschiedlicher interessenge-

leiteter nationaler Akteure in dieser Gestalt überhaupt erst einmal erreichbar. Daraus ergibt sich sogleich die zweite These: Um globale Effekte zu erzielen, bedarf es der sozialen Arrangements, die sich abkoppeln von temporären und lokalen Befindlichkeiten, die aufgrund von politischen Entwicklungen drohen, wieder ausgesetzt zu werden, bevor sich erste Erfolge eingestellt haben könnten. Diese Entwicklung würde mit der Lernfalle des „failure trap“ korrespondieren, wie diese in der Organisationstheorie analysiert wurde (March/Olsen 1995, S. 216). Dieser unheilvolle Zirkel aus Reformen und enttäuschten Erwartungen ist aber nur eine Seite der Medaille; March und Olsen verweisen ebenso auf die „competency trap“, jener Fall des Nichtlernens, der sich aus dem Festhalten (exploitation) an einmal eingeschlagenen Strategien resultiert. Die Zurechnung von ersten Erfolgen auf die eigenen Kompetenzen verstellt häufig den Blick für Defizite oder die Erkundung neuer Möglichkeiten (exploration) (March/Olsen 1995, S. 217). Ein einmal mit viel politischer Energie und Kompromissfähigkeit eingerichtetes globales Regime wird sich auch dann nicht so schnell wieder abändern lassen, auch wenn sich Anzeichen von „nicht beabsichtigten Nebenfolgen“ einstellen (Keohane/Victor 2011). Aktuell kann aus den Konsequenzen des REDD+ Zertifikatehandels gelernt werden, dem Bevormundung, Ausbeutung, unzulässige Bereicherung und Beschönigung von Klimaneutralität unterstellt wird (Haya et al. 2023).

Für die Technikfolgenabschätzung stelle ich mir zweierlei Aufgabenstellungen vor. Zum einen die theoretische Beleuchtung der Bedingungen der Möglichkeit globaler Regime – im günstigsten Fall in einem interdisziplinären Projekt, das an den Referenzproblemen in der Sach-, Sozial- und Zeitdimension wie weiter oben beschrieben ausgerichtet ist. Dabei stellen sich folgende Fragen: Wie können 4C-Transaktionen transparent und fair gestaltet werden und „moral hazards“ vermieden beziehungsweise eingeschränkt werden? Wie können Vertrauensarchitekturen aufgebaut werden, um eine ausreichende handlungsermöglichende Unsicherheitsabsorption in Wirkung zu setzen? Zum anderen kann die TA klassisch eine Nebenfolgenanalyse betreiben, um die Folgen der Implementierung einer globalen soziotechnischen CDR-Infrastruktur zum Beispiel für Ressourcen- und Landverbrauch sowie für die jeweilige Bevölkerung zu beleuchten.

Literatur

- Baumgärtner, S.; Becker C.; Faber, M.; und Manstetten, R. (2006): Relative and absolute scarcity of nature. Assessing the roles of economics and ecology for biodiversity conservation. In: Ecological Economics 59, S. 487–498

- Chen, D. B.; van der Beek, J.; Cloud, J. (2017): Climate mitigation policy as a system solution: addressing the risk cost of carbon. In: *Journal of Sustainable Finance & Investment* 7, S. 233–274
- Chen, D. B.; van der Beek, J.; Cloud, J. (2019): Hypothesis for a Risk Cost of Carbon: Revising the Externalities and Ethics of Climate Change. In: *Understanding Risks and Uncertainties in Energy and Climate Policy*, S. 183–222. DOI: 10.1007/978-3-030-03152-7_8
- Ciotola, M. P. A. (2023): A Thermodynamic Interpretation of the Progression of Historical Processes. In: *Journal of World-Systems Research* 29, S. 39–70
- DENA – Deutsche Energie-Agentur (2024): Energieeffiziente künstliche Intelligenz für eine klimafreundliche Zukunft. Berlin. <https://www.dena.de/infocenter/energieeffiziente-kuenstliche-intelligenz-fuer-eine-klimafreundliche-zukunft/> [aufgesucht am 22.01.2025]
- Edenhofer, O.; Franks, M.; Beznoska, M.; Kalkuhl, M.; Runge-Metzger, A. (2024): On the Governance of Carbon Dioxide Removal – A Public Economics Perspective. In: *FinanzArchiv* 80, S. 70–110. DOI: 10.1628/fa-2023–0012
- Esposito, E. (2016): Temporal markets : money, the future and political action. In: *Behemoth* 9/2, S. 37–45. DOI: 10.6094/BEHEMOTH.2016.9.2.914
- Freire-González, J. (2023): Rebound effect and the Jevons paradox. In: Padilla Rosa, E.; Ramos-Martín, J. (Hg.) (2023): *Elgar Encyclopedia of Ecological Economics*. Cheltenham, S. 453–459
- Friedlingstein, P.; O’Sullivan, M.; Jones, M. W.; et al. (2024): Global Carbon Budget 2024. *Earth System Science Data* 17(3), S. 965–1036. DOI: 10.5194/essd-2024–519
- Garrett, T. J. (2012): No way out? The double-bind in seeking global prosperity alongside mitigated climate change. In: *Earth System Dynamics* 3, S. 1–17
- Georgescu-Roegen, N. (1986): The Entropy Law and the Economic Process in Retrospect. In: *Eastern Economic Journal* 12, S. 3–25
- Gómez-Baggethun, E. (2023): Environmental limits. In: Padilla Rosa, E.; Ramos-Martín, J. (Hg.) (2023): *Elgar Encyclopedia of Ecological Economics*. Cheltenham, S. 241–245
- Green, J. F. (2021): Does carbon pricing reduce emissions? A review of ex-post analyses. In: *Environmental Research Letters* 16, Artikel 043004. DOI: 10.1088/1748–9326/abdae9
- Gugler, K.; Haxhimusa, A.; Liebensteiner, M. (2021): Effectiveness of climate policies: Carbon pricing vs. subsidizing renewables. In: *Journal of Environmental Economics and Management* 106, Artikel 102405. DOI: 10.1016/j.jeem.2020.102405
- Haya, B. K.; Alford-Jones, K.; Anderregg, W. R. L.; Beymer-Farris, B.; Blanchard, L.; Bomfim, B.; Chin, D.; Evans, S.; Hogan, M.; Holm, J. A.; McAfee, K.; So, I. S.; West, T. A. P.; Withey, L. (2023): Quality Assessment of REDD+ Carbon Credit Projects. <https://carbonmarketwatch.org/publications/quality-assessment-of-redd-carbon-credit-projects/> [aufgesucht am 09.10.2025]
- Höglund, R.; Mitchell-Larson, E.; Delerce, S. (2023): How to avoid carbon removal delaying emissions reductions. London: Carbon Gap. <https://carbongap.org>. [aufgesucht am 09.10.2025]
- Keohane, R. O.; Victor, D. G. (2011): The Regime Complex for Climate Change. In: *Perspectives on Politics* 9, S. 7–23
- Luhmann, N. (1986): *Ökologische Kommunikation. Kann die moderne Gesellschaft sich auf ökologische Gefährdungen einstellen?* Opladen
- Luhmann, N. (1997a): *Die Gesellschaft der Gesellschaft – Band 1*. Frankfurt am Main

- Luhmann, N. (1997b): Die Gesellschaft der Gesellschaft – Band 2. Frankfurt am Main
- Luhmann, N. (1999): Die Wirtschaft der Gesellschaft. 3. Aufl. Frankfurt am Main
- March, J. G.; Olsen, J. P. (1995): Democratic Governance. New York.
- Maruyama, M. (1963): The Second Cybernetics. Deviation-Amplifying Mutual Causal Processes. In: American Scientist 51, S. 164–179
- Nassehi, A. (2024): Kritik der großen Geste. München
- Paul, A. T. (2002): Money Makes the World Go Round. Über die Dynamik des Geldes und die Grenzen der Systemtheorie. In: Berliner Journal für Soziologie 12, S. 243–262
- Perino, G. (2018): New EU ETS Phase 4 rules temporarily puncture waterbed. In: Nature Climate Change 8, S. 262–264
- Rosendahl, K. E. (2019): EU ETS and the waterbed effect. In: Nature Climate Change 9, S. 734–735
- Schumpeter, J. A. (2014): Capitalism, socialism, and democracy. London, New York.
- Simmel, G. (2004): The Philosophy of Money. London
- Smith, S.; Geden, O.; Gidden, M. (2024): The State of Carbon Dioxide Removal – 2nd Edition. OSF. DOI: 10.17605/OSF.IO/F85QJ
- Strulik, T. (2011): Vertrauen. Ein Ferment gesellschaftlicher Risikoproduktion. Erwägen Wissen Ethik 22, S. 239–251
- UNEP – United Nations Environment Programme (2023): Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again). Nairobi: United Nations. DOI: 10.59117/20.500.11822/4392
- van Gansbeke, F. (2021): Time For IMF Climate Coin. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/frankvangansbeke/2021/01/17/time-for-imf-climate-coin-13/> [aufgesucht am 13.06.2023]
- Wagner, G. (2023): Und wenn wir einfach die Sonne verdunkeln? : Das riskante Spiel, mit Geoengineering die Klimakrise aufhalten zu wollen. München
- Weber, M. (1964): Wirtschaft und Gesellschaft: Grundriss der verstehenden Soziologie – 2. Halband – Studienausgabe. Köln
- Wiegandt, K. (Hg.) (2024): 3 Degrees More: The Impending Hot Season and How Nature Can Help Us Prevent It. Cham
- Willke, H. (2023): Klimakrise und Gesellschaftstheorie: zu den Herausforderungen und Chancen globaler Umweltpolitik. Frankfurt am Main/New York
- WRI – World Resources Institute (2025): Direct Air Capture: Assessing Impacts to Enable Responsible Scaling. Washington: World Resources Institute. <https://publications.wri.org/r415b1434> [aufgesucht am 26. Juni 2025]
- Wullweber, J. (2018): Zentralbanken als marktmachende Akteure: Die global governance des Finanzsystems, das Schattenbankensystem und unkonventionelle Zentralbankpolitik seit der globalen Finanzkrise. In: Zeitschrift für Internationale Beziehungen 25, S. 33–63
- Wullweber, J. (2021): The Politics of Shadow Money: Security Structures, Money Creation and Unconventional Central Banking. In: New Political Economy 26, S. 69–85

