

Positionspapier

Umgang mit dem 1,5°C-Ziel

Empfehlungen, abgeleitet aus dem internen Workshop vom 25.04.2024
im Rahmen der DKK-Jahrestagung in Berlin

Autor:innen Vorstand des Deutschen Klima-Konsortiums: Angela Oels (Vorsitzende), Susanne Dröge, Thomas Hickler, Mark Lawrence, Markus Reichstein sowie Jochem Marotzke (ehem. Vorsitzender) und Marie-Luise Beck (Geschäftsführerin)

Kernbotschaften

- 1. Das absehbare Überschreiten des Zielwertes von 1,5°C sollte offen kommuniziert werden.** Der sechste IPCC-Sachstandsbericht¹ konstatiert, dass das 20-Jahresmittel der globalen Temperaturerhöhung vermutlich Anfang der 2030er Jahre die 1,5°C-Grenze überschritten haben wird. Die Gestaltung der Klimaanpassung sollte von aktuell plausiblen Temperaturszenarien ausgehen und sich auf diese vorbereiten.
- 2. 1,5°C stellt keine physikalische Schwelle des Klimawandels dar. Es gibt keinen trennscharfen Übergang von einem sicheren Klima zu einem gefährlichen Klimawandel.** Schon heute verursacht der Klimawandel in vielen Teilen der Welt erhebliche Schäden. Die Veränderung der lokalen Durchschnittstemperatur weicht an vielen Orten deutlich nach oben und unten vom globalen Mittel ab.
- 3. Mit jedem weiteren Zuwachs an globaler Erwärmung werden Änderungen von Extremen weiterhin größer.** Der Weltklimarat IPCC hat in seinem Sonderbericht zum 1,5°C-Ziel die Unterschiede in den erwartbaren Klimafolgen zwischen 1,5°C und 2°C herausgearbeitet [15]. Hier wird dargelegt, dass es bei 2°C erheblich mehr Klimaschäden geben wird als bei 1,5°C. Im sechsten Sachstandsbericht des IPCC ist belegt, dass es bei jedem halben Grad Celsius weiteren Temperaturanstieg deutlich erkennbar mehr Hitzewellen, Starkniederschläge und Überflutungen gibt.²
- 4. Das Pariser Abkommen ist völkerrechtlich verbindlich und steht daher nicht zur Disposition** [3]. Es benennt das Ziel, die Erwärmung auf *deutlich unter 2°C* zu begrenzen und konkretisiert dies mit Verweis auf die 1,5°C. Artikel 2 konstatiert, dass die „Bedrohung durch Klima-

¹ siehe Lee, Marotzke et al., Kapitel 4, in [1]

² siehe B2.2 in [2]

wandeländerungen“ gemindert werden soll, indem „der Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur deutlich unter 2°C über dem vorindustriellen Niveau gehalten wird und Anstrengungen unternommen werden, um den Temperaturanstieg auf 1,5°C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, da erkannt wurde, dass dies die Risiken und Auswirkungen der Klimaänderungen erheblich verringern würde“. In Artikel 4 benennt das Pariser Abkommen das Ziel der Treibhausgasneutralität und legt hierfür einen Zeithorizont fest. Der Artikel führt aus, „so bald wie möglich den weltweiten Scheitelpunkt der Emissionen von Treibhausgasen zu erreichen [...], um in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts ein Gleichgewicht zwischen den anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen aus Quellen und dem Abbau solcher Gase durch Senken [...] herzustellen“. In dem von 195 Staaten sowie der EU verabschiedeten Pariser Abkommen ist somit politisch festgelegt, was als gefährlicher Klimawandel betrachtet wird und was durch angemessene politische Maßnahmen zu vermeiden ist.

5. **Für das Temperaturziel legt das Pariser Abkommen *keinen* konkreten Zeithorizont fest.** Allerdings kann der genaue Wortlaut „deutlich unter 2°C...*gehalten* wird“ (Pariser Abkommen, Art. 2, Betonung hinzugefügt) als ein Hinweis darauf interpretiert werden, dass der klimatisch gemittelte Temperaturanstieg dauerhaft und zu jeder Zeit deutlich unter 2°C gehalten werden soll. Gleichwohl entstand im Klimawandeldiskurs das Konzept des „Overshoot“, also eines nur temporären Überschreitens des Temperaturziels. Allerdings – vorausgesetzt ein nur temporäres Überschreiten des Pariser Temperaturziels gelänge – birgt dieser Ansatz das Risiko von irreversiblen Schäden, z.B. Korallensterben, Überflutungen, Waldsterben und Gletscherschmelzen.
6. **Es sind insbesondere die gesellschaftlichen Treiber wie Konsumverhalten und Unternehmensstrategien, die der Einhaltung des 1,5°C-Ziels entgegenwirken.** Die Gesellschaftswissenschaften liefern dazu relevante Hinweise; ebenso zu politischen Handlungsoptionen für ein Umsteuern. Bisher sind die getroffenen politischen Entscheidungen für das Erreichen der klimapolitischen Ziele, insbesondere für das Ziel der tiefen Dekarbonisierung, unzureichend [4]. Vor allem steht die große soziale Ungleichheit in vielen Gesellschaften der Welt einer Dekarbonisierung bis 2050 im Weg. Gleichwohl gibt es Entwicklungen, die das Erreichen des 1,5°C-Ziels befördern, und daher deutlicher herausgestellt werden sollten. Dazu gehört, dass heute global fast doppelt so viel in erneuerbare Energien investiert wird wie in fossile oder auch, dass die Kosten für Solarenergie in den letzten 20 Jahren um ca. 90 Prozent gesunken sind [5, 6].

Über uns: Das Deutsche Klima-Konsortium (DKK e. V.) ist die Selbstorganisation der Klimawissenschaften in Deutschland mit aktuell 27 Mitgliedsinstitutionen. Als größtes nationales Netzwerk repräsentiert der Verband die sich ständig erweiternde Vielfalt der Klimaforschung und Klimafolgenforschung. Neben den klassischen naturwissenschaftlichen Disziplinen spielen die Gesellschaftswissenschaften eine immer größere Rolle, um Bedingungen, Treiber und Konzepte von gesellschaftlichem Wandel zu verstehen. Die Wechselwirkungen zwischen Klima-, Biodiversitäts-, Nachhaltigkeits- und Transformationsforschung sind ein weiterer Schwerpunkt. www.klima-konsortium.de

FAQs

- 1. Wie und woran wird die Einhaltung des 1,5°C-Ziels gemessen?**
- 2. Inwiefern ist das 1,5°C-Ziel noch zu erreichen?**
- 3. Wann wird das 1,5°C-Ziel nach aktuellem wissenschaftlichen Sachstand überschritten?**
- 4. Wie ist ein temporäres Überschreiten (Overshoot) des 1,5°C-Ziels zu bewerten?**
- 5. Was sind negative Emissionen und welche Rolle können sie für das 1,5°C-Ziel spielen?**
- 6. Was versteht man unter Treibhausgasneutralität?**
- 7. Welche Rolle spielt die Biodiversität für das 1,5°C-Ziel?**

1. Wie und woran wird die Einhaltung des 1,5°C-Ziels gemessen?

Das 1,5°C-Ziel bezieht sich auf die Differenz der globalen Mitteltemperatur zur sog. vorindustriellen Zeit. Weil erst seit Mitte des 19. Jahrhunderts belastbare Temperaturdaten vorliegen und in der Zeit davor der Eintrag von Kohlendioxid (CO₂) in die Atmosphäre so gering war, dass er noch kaum klimawirksam sein konnte, bildet die globale Mitteltemperatur der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Ära „vorindustrielle Zeit“ ab.

Um einen Temperaturanstieg festzustellen, wird dieser historische Wert mit der heutigen globalen Mitteltemperatur, gemittelt über Jahrzehnte, referenziert. Aufgrund der natürlichen Klimavariabilität hätte der Vergleich mit nur einem oder sehr wenigen Jahren keine Aussagekraft. Während der IPCC als Referenzzeitraum ein 20-Jahresmittel verwendet, definiert die WMO (World Meteorological Organisation) das Klima als das mittlere Wetter über 30 Jahre [7].

Wissenschaftlich gesichert ist: in den ersten 20 Jahren des 21. Jahrhunderts lag die globale Mitteltemperatur bei ca. 1°C über der in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts.

Für das Jahr 2023 lag die gemittelte Temperaturerhöhung bei 1,46 °C (MetOffice) [8]. Dabei handelte es sich nur um ein einzelnes Jahr und nicht um das 20-Jahresmittel, was die entscheidende Bezugsgröße des IPCC für die Bestimmung einer möglichen Überschreitung des Werts 1,5°C darstellt. Gleichwohl entstand eine hitzige mediale Diskussion über das Verfehlen des 1,5°C-Ziels.

2. Inwiefern ist das 1,5°C-Ziel noch zu erreichen?

Rein physikalisch ist die Einhaltung des 1,5°C-Ziels noch möglich. Zu beachten sind dabei zwei gegenläufige Effekte. Zum einen existiert eine Trägheit in der Erwärmung der Meere, wodurch diese sich, selbst bei gleichbleibenden atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen, noch über Jahre weiter erwärmen würden. Zum anderen kommt ein gegenläufiger Effekt zum Tragen: wenn die CO₂-Emissionen sehr schnell auf null sanken, würden die Ozeane weiterhin CO₂ aus der Atmosphäre aufnehmen, bis sich ein Gleichgewicht zwischen Atmosphäre und Ozeanen etabliert hätte. Durch diesen Prozess würde der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre letztlich *unter* den CO₂-Gehalt sinken, welcher zum Zeitpunkt der netto null CO₂-Emissionen bestand. Nach Modellberechnungen (wie sie schon im Rahmen des 5. IPCC-Sachstandsberichts von 2013 erstellt wurden) ist zu erwarten, dass sich diese gegenläufigen Effekte ungefähr ausgleichen. Wenn also die globalen CO₂-Emissionen *heute gestoppt* würden (und andere klimawirksame Gase und Partikel etwa gleichblieben), ist davon auszugehen, dass die global gemittelte Erdoberflächentemperatur in etwa gleichbliebe. D. h. bei der aktuellen mittleren globalen Oberflächentemperatur von knapp unter 1,5°C würde das auf die physikalische Möglichkeit der Einhaltung des Ziels – ohne Überschreiten – hindeuten. Allerdings kann dies, so knapp an der 1,5°C-Schwelle, nicht mehr mit Sicherheit vorhergesagt werden.

Es lassen sich daher nur noch Szenarien berechnen, die (mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit von bspw. 50 oder 66 Prozent) unterhalb einer Temperaturschwelle bleiben, die *jenseits* der 1,5°C liegt – oder aber nach einem zeitweisen Überschreiten der 1,5°C-Schwelle wieder auf den Wert 1,5°C zurückkehren würden. Alle diese Szenarien, die das Einhalten des 1,5°C-Ziels bis Ende des Jahrhunderts (i.d.R. nach einem zeitweiligen Überschreiten) modellieren, berechnen die Pfade unter folgenden Voraussetzungen: (1) die Bruttoemissionen müssen so *drastisch* reduziert werden, dass die Weltgemeinschaft (2) zur Mitte des Jahrhunderts bei netto-null³ CO₂-Emissionen steht und danach (3) netto-negative⁴ Emissionen über Jahrzehnte aufrechterhält.

Nach heutigem Stand ist die erforderliche drastische Emissionsreduktion technisch immer noch möglich. Angesichts der existierenden gesellschaftlichen Bedingungen kann dies aber realistisch nicht erwartet werden. Studien der Universität Hamburg zeigen, dass soziale „Treiber“ – das sind u.a. internationale Abkommen, soziale Bewegungen und Klimaproteste, Klimaklagen, Erzeugung von Wissen oder Medien – zwar die Dekarbonisierung unterstützen, sie aber insgesamt zu schwach sind, um die notwendige drastische Emissionsreduktion zu erwirken. Die beiden Treiber „Konsumverhalten der Bürger:innen“ und „Verhalten der Unternehmen“ wirken sogar den Zielen des Pariser Abkommens entgegen [4]. Laut einer neuen Studie hat sich der soziale Treiber „Divestment bei fossilen Energieträgern“ sogar von einem bisher zu schwachen Treiber zu einem den Zielen wieder entgegenwirkenden Treiber zurückentwickelt [16]. Die immer noch erheblichen Investitionen in fossile Energieträger (z. B. Bau von Kohle- und Gaskraftwerken, die Erschließung von Öl- und Gasfeldern) sowie klimaschädliche Subventionen haben zur Folge, dass „netto-null“ in immer weitere Ferne rückt.

3. Wann wird das 1,5°C-Ziel nach aktuellem wissenschaftlichen Sachstand überschritten?

Der letzte IPCC-Bericht⁵ gibt an, dass das 20-Jahresmittel der globalen Temperaturerhöhung vermutlich Anfang der 2030er Jahre die 1,5°C-Grenze überschritten haben wird, fast unabhängig von der Emissionsentwicklung.

Die Relativierung „fast unabhängig“ bezieht sich auf alle realistisch zu erwartenden Emissionsentwicklungen. Wenn die globalen CO₂-Emissionen wider Erwarten tatsächlich heute auf null heruntergefahren würden (s. FAQ 2), dann würde die globale mittlere Temperatur in etwa gleichbleiben und die 1,5 °C-Grenze eher nicht überschritten werden. Auch eine nicht-abrupt, jedoch unfassbar schnelle Emissionsreduktion (bspw. auf null bis 2030) würde den Zeitpunkt des Überschreitens voraussichtlich hinauszögern oder ggf. sogar ein Überschreiten im langjährigen Mittel komplett vermeiden.

4. Wie ist ein temporäres Überschreiten (Overshoot) des 1,5°C-Ziels zu bewerten?

Das Pariser Abkommen spezifiziert keinen Zeithorizont für die Temperaturziele. Die Formulierung, dass „der Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur deutlich unter 2°C gehalten wird“ bzw. „Anstrengungen unternommen werden, um den Temperaturanstieg auf 1,5°C [...] zu begrenzen“, (Pariser

³ Netto-Null (oder auch treibhausgasneutral) bezieht sich auf die Klimabilanz der Erde, die „unter dem Strich“ null sein muss, d. h. sämtliche durch den Menschen verursachten CO₂-Emissionen werden vermieden oder durch Reduktionsmaßnahmen wieder aus der Atmosphäre entfernt. Oft wird der Begriff auch für andere Treibhausgase (Methan, Lachgas, Ozon usw.) angewendet.

⁴ Netto-negative Emissionen werden erzielt, wenn der Atmosphäre mehr Treibhausgase entnommen (und dauerhaft gespeichert) werden, als im selben Zeitraum in die Atmosphäre freigesetzt werden. Das Konzept des Overshoot rechnet mit netto-negativen Emissionen, um die Temperatur bis Ende des Jahrhunderts wieder auf 1,5°C zurückzuführen.

⁵ siehe Lee, Marotzke et al., Kapitel 4, in [1]

Abkommen, Art. 2) deutet auf eine dauerhafte Einhaltung der globalen Temperatur bei bzw. unter diesen Werten hin. Die aktuell vorherrschende Interpretation geht davon aus, dass das Pariser Abkommen auch Raum für ein temporäres Überschreiten der Temperatur (Overshoot) und ihre Zurückführung auf unter 1,5°C erkennen ließe.

Ermöglicht werden soll der Overshoot durch „negative Emissionen“. Das ist das hypothetische, aktive Entfernen von enormen Mengen CO₂ aus der Atmosphäre und ihre anschließende dauerhafte und sichere Speicherung. Laut IPCC entsprechen 0,1°C zusätzliche Erwärmung in etwa 220 Gigatonnen kumulativer CO₂-Emissionen⁶. Es wäre die Speicherung von Hunderten von Gigatonnen CO₂ nötig. Zum Vergleich: derzeit werden, insbesondere durch die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas, weltweit etwa 40 Gigatonnen CO₂ pro Jahr in die Atmosphäre entlassen. In Anerkennung der aktuellen Lage und der zu erwartenden Weiterentwicklung sind inzwischen viele Expert:innen von der Erwartung „nie über 1,5°C“ abgerückt.

Das Szenario des IPCC für das 1,5°C-Ziel (SSP1-1.9) folgt der Logik des Overshoot. Es modelliert den Übergang zu netto-negativen CO₂-Emissionen kurz nach 2050 als eine auf dem aktuellen Verständnis basierende sozioökonomische Bedingung dafür, dass die Erwärmung bis 2100 wieder unter 1,5°C fallen kann. Dasselbe Szenario modelliert allerdings die Trendwende (d. h. erstmals *sinkende* Emissionen), etwa für das Jahr 2020. Diese Trendwende ist bereits verpasst. Nach aktuellem Sachstand ist ein Sinken der globalen Mitteltemperatur unter 1,5°C Erwärmung bis 2100 nicht auszuschließen. Es erfordert jedoch mit jedem weiteren Jahr Verzögerung immer drastischere Emissionsreduktionen und ist ferner anhand der erwartbaren Kosten für die notwendige CO₂-Entfernung nicht realistisch zu erwarten.

Ein Overshoot und die anschließende Zurückführung auf 1,5°C – wenn sie denn gelänge – würde allerdings nicht bedeuten, dass auch die Natur und die Ökosysteme wieder auf den Stand einer 1,5°C-Welt rückführbar wären. Beispiele: Die in der Overshoot-Phase abgeschmolzenen Eispanzer auf Grönland würden sich nicht wieder aufbauen und die durch den Temperaturanstieg vernichteten Wälder würden nicht wieder zurückkommen.

Overshoot als Strategie, das 1,5°C-Ziel doch noch einzuhalten, bleibt zum einen die Antwort schuldig, ob die technischen und politischen Voraussetzungen für die damit verbundene enorme CO₂-Entnahme überhaupt darstellbar sind. Zum anderen ist unklar, ob und wenn ja in welcher Höhe ein Overshoot überhaupt gesellschaftlich „tolerierbar“ wäre.

5. Was sind negative Emissionen und welche Rolle können sie für das 1,5°C-Ziel spielen?

Zu negativen Emissionen kommt es durch die Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre und seine dauerhafte natürliche oder technische Speicherung. Ohne negative Emissionen ist das Einhalten des 1,5°C-Ziels zum Ende des Jahrhunderts bei den aktuellen Emissionspfaden über die nächsten Jahrzehnte nicht mehr möglich. Alle Szenarien des IPCC, welche die Ziele des Pariser Abkommens einhalten, beinhalten die Anrechnung eines mehr oder weniger großen Anteils an negativen Emissionen. Davon geht das fatale Signal aus, dass die Einhaltung der Ziele realistisch möglich sei, denn die zugrundeliegenden Annahmen werden kaum thematisiert. Doch je später die Trendwende erfolgt, desto abrupter müssten Emissionen reduziert und schließlich beendet bzw. sogar netto-negativ werden. Dies würde einen extrem schnellen Ausbau technischer Anlagen zur CO₂-Speicherung und der Erschließung von Speicherstätten erfordern. Für derartige Modelle werden enorme Skalierungen der technologischen Anwendungen angenommen, zumeist ohne Einordnung oder mit sehr optimistischen Annahmen darüber, mit welchen Kosten, Energiebedarfen und materiellen Ressourcen dies verbunden wäre.

⁶ siehe D1.1 in [2]

Problematisch ist auch, dass der Eindruck entsteht, durch diese technischen Lösungen würde die Änderung des Lebensstils und der Wirtschaftsweise obsolet. Dies ist nicht der Fall. Der Grund dafür ist, dass eine großskalige CO₂-Entfernung und Speicherung mit sehr hohen Kosten, einem enormen Ressourcenverbrauch und weiterem Druck auf Ökosysteme (s. FAQ 7) verbunden wäre. So liegen die Kosten einer direkten Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre mit chemischen Methoden (*direct air capture*, DAC) derzeit bei ca. 500-1000 Euro pro Tonne CO₂ [9, 10]. Die Summe dieser Kosten steigt umso mehr, je länger an den aktuellen Lebensstilen und linearen Wirtschaftsweisen festgehalten wird.

6. Was versteht man unter Treibhausgasneutralität?

Das Pariser Abkommen formuliert in Artikel 4 das Ziel der Treibhausgasneutralität zusammen mit einem expliziten Zeithorizont: Ein „Gleichgewicht zwischen den anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen aus Quellen und dem Abbau solcher Gase durch Senken“ (Pariser Abkommen, Art. 4) sollte in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts erreicht werden. Das Ziel Treibhausgasneutralität ist also schon jetzt eine formale Ergänzung des 1,5°C-Ziels.

Allerdings ist der Begriff Treibhausgasneutralität nicht eindeutig definiert. Das liegt an den unterschiedlichen Klimawirkungen von Treibhausgasen wie Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und Ozon (O₃), die die terrestrische Infrarotstrahlung unterschiedlich stark und in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen absorbieren, eine unterschiedliche atmosphärische Verweildauer haben und auch unterschiedlich räumlich verteilt sind. Um die Klimawirkung dieser Treibhausgase dennoch vergleichbar zu machen, arbeitet man daher mit einem Umrechnungsfaktor, dem „Global Warming Potential“ (GWP). Es setzt das Erwärmungspotential eines Kilogramms Emissionen eines Treibhausgases ins Verhältnis zu einem Kilogramm CO₂-Emissionen, d.h. für CO₂ ist das GWP gleich eins. Für die Umrechnung muss jedoch ein Zeithorizont spezifiziert werden. Für weniger langlebige Gase wie Methan unterscheidet sich das GWP je nach gewähltem Zeithorizont erheblich: Methan hat ein GWP von etwa 30 für einen 100-Jahre Zeithorizont, jedoch knapp über 80 für einen 20-Jahre Zeithorizont. Für kurzlebige Treibhausgase wie Ozon ist die Umrechnung noch komplizierter. Wenn Treibhausgasneutralität für jedes einzelne Treibhausgas individuell angewendet wird, dann erübrigt sich die Umrechnungsproblematik. Wenn es jedoch um die allgemeine Treibhausgasneutralität geht mit der Möglichkeit eines Kreuz-Kompensierens (bspw. CO₂-Entnahme, um Methan- oder Lachgas-Emissionen auszugleichen), dann fehlt bisher eine klare Arbeitsdefinition von „Treibhausgasneutralität“, um damit konsistent operieren zu können.

Abgesehen von den Treibhausgasen sind auch andere anthropogene Einflüsse klimarelevant. Das gilt insbesondere für Feinstaub, wie Sulfat-, Nitrat- und Rußpartikel, die kühlend und, in weit geringerem Maße, auch erwärmend wirken. Die Netto-Abkühlung durch Feinstaub beträgt etwa 0,5°C gegenüber der vorindustriellen Zeit⁷ und ist daher signifikant, verglichen mit der aktuellen Erderwärmung durch CO₂ von etwa 1°C. Diese „maskierende“ Wirkung von Feinstaub gilt allerdings nur im globalen Mittelwert. Feinstaub ist, verglichen mit CO₂, räumlich deutlich anders verteilt und trägt daher stark zum *regionalen* Klimawandel bei. Die Ziele des Pariser Abkommens einzuhalten – sowie im Allgemeinen effektiven Klimaschutz zu betreiben – bedeutet deshalb auch, die Emissionen dieser klimawirksamen Schadstoffe zu berücksichtigen.

⁷ siehe Abb. 6.12 in [1]

7. Welche Rolle spielt die Biodiversität für das 1.5°C-Ziel?

Klima und Biodiversität sind eng miteinander verflochten, man spricht deshalb auch von einer Zwillingenkrise. Der Klimawandel verschärft die Risiken für die biologische Vielfalt in natürlichen und bewirtschafteten Lebensräumen. Gleichzeitig spielen natürliche und bewirtschaftete Ökosysteme mit ihrer biologischen Vielfalt eine Schlüsselrolle sowohl bei der Freisetzung und Bindung von Treibhausgasen als auch für die Klimaanpassung. Land-Ökosysteme und Ozeane nehmen derzeit zusammen mehr als 50 Prozent der anthropogenen CO₂-Emissionen auf. Im Ozean erfolgt ein Großteil der CO₂-Aufnahme durch physikalische Lösung, um den Preis der Versauerung der Meere. Auf dem Land findet die Speicherung in Vegetation und Böden statt. Diese Beiträge der Natur, die den Klimawandel abschwächen, werden jedoch durch die Zerstörung von Ökosystemen und ihrer Biodiversität infolge des fortschreitenden Klimawandels und anderer menschlicher Aktivitäten schon heute beeinträchtigt [11].

Gleichzeitig spielen intakte Ökosysteme für die Klimaanpassung eine entscheidende Rolle, weil solche Ökosysteme resilienter gegenüber dem Klimawandel sind. Prominentes Beispiel sind Deutschlands Wälder, wo seit der Jahrhundertdürre 2018 großflächig Fichten-Monokulturen absterben, während intakte und biodiverse Ökosysteme weniger stark betroffen sind.

Die zunehmende Schädigung von Ökosystemen, hervorgerufen durch Landnutzungsänderungen und andere Eingriffe in natürliche Kohlenstoffspeicher wie Wälder, Moore oder Böden, verwandelt Ökosysteme häufig von einem CO₂-Speicher in eine CO₂-Quelle – und damit in einen zusätzlichen Treiber des Klimawandels. Zwei Beispiele: Die anthropogene Entwaldung in Brasilien hat in den letzten 20 Jahren im Schnitt jährlich zu mehr CO₂-Emissionen geführt als der jährliche CO₂-Ausstoß in Deutschland [12]. In Deutschland hat die Entwässerung von natürlichen Mooren zu erheblichen CO₂-Emissionen geführt, die heute ca. sieben Prozent der Gesamt-Emissionen Deutschlands entsprechen [14].

Maßnahmen zum Schutz, zur Wiederherstellung und zur nachhaltigen Nutzung von Land- und Meeres-Ökosystemen bieten einen dreifachen Nutzen: (1) sie schützen die biologische Vielfalt, (2) unterstützen die Anpassung an die Folgen des Klimawandels und (3) dienen dem Klimaschutz. Der Umbau der Wälder in Deutschland hin zu baumartenreicheren Systemen führt beispielsweise zur Risikostreuung, zum Erhalt der biologischen Vielfalt und zur langfristigen Sicherung der Holzproduktion.

Maßnahmen wie Wiederbewaldung können zu weiterer CO₂-Aufnahme im Rahmen von naturbasierten Lösungen (*nature-based solutions*, NbS) führen und zu negativen Emissionen beitragen. Jedoch ist stets sehr kritisch zu betrachten, ob zum einen die CO₂-Senken dauerhaft sind (und nicht z.B. durch Feuer zerstört werden können) und zum anderen, ob sie Biodiversität und andere Nachhaltigkeitsziele negativ beeinflussen. Für verschiedene naturbasierte Lösungen werden Speicherkapazitäten von Milliarden von Tonnen CO₂ errechnet. Aber (1) die quantitativen Abschätzungen liegen oft weit auseinander, (2) die grundlegenden Prozesse sind teilweise noch nicht hinreichend verstanden (z. B. bei einigen marinen Maßnahmen) und (3) Zielkonflikte mit anderen Nachhaltigkeitszielen, wie sichere Ernährung, werden oft nicht hinreichend berücksichtigt [10].

Auch die technische CO₂-Entnahme ist aufgrund des Flächenverbrauchs problematisch. Landbasierte Maßnahmen können Landnutzungskonflikte (weiter) anheizen. In einigen Szenarien für großflächige Bioenergieplantagen mit CO₂-Verpressung (*bioenergy with carbon capture and storage*, BECCS) wird von mehr als einer Milliarde Hektar – in etwa das Hundertfache der in Deutschland landwirtschaftlich genutzten Fläche – ausgegangen. Auch ein einseitiger Fokus auf die Klimaschutzfunktion, die nur eine von vielen Ökosystemleistungen ist, verbunden mit der Konzentration auf Wiederbewaldung, ist kritisch zu bewerten. Viele sogenannte *key biodiversity areas* befinden sich in Offenlandsystemen und sind aktuell durch Aufforstungsprojekte bedroht [13].

Literatur

- 1 **IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, doi:10.1017/9781009157896.
- 2 **IPCC, 2021: Summary for Policymakers.** In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.3.
- 3 BMUV, 2016: **Übereinkommen von Paris**, <https://www.bmu.de/gesetz/uebereinkommen-von-paris>, Zugriff: 16. September 2024.
- 4 Engels, Anita; Jochem Marotzke; Eduardo Gonçalves Gresse; Andrés López-Rivera; Anna Pagnone; Jan Wilkens (eds.), 2023: **Hamburg Climate Futures Outlook 2023.** The plausibility of a 1.5°C limit to global warming—Social drivers and physical processes. Cluster of Excellence Climate, Climatic Change, and Society (CLICCS). Hamburg: Universität Hamburg. <https://www.cliccs.uni-hamburg.de/de/publications/hamburg-climate-futures-outlook.html>, Zugriff: 16. September 2024.
- 5 International Energy Agency, 2023: **World Energy Outlook 2023**, Paris: International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>, Zugriff: 16. September 2024.
- 6 **IPCC, 2022: Summary for Policymakers** [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.
- 7 **World Meteorological Organization**, 2024: Climate. <https://wmo.int/topics/climate>, Zugriff: 16. September 2024.
- 8 **Met Office**, 2024: 2023: The warmest year on record globally. <https://www.metoffice.gov.uk/about-us/news-and-media/media-centre/weather-and-climate-news/2024/2023-the-warmest-year-on-record-globally>, Zugriff: 16. September 2024.
- 9 **Global Carbon Project**, 2021: The global carbon project. <https://www.globalcarbonproject.org/>, Zugriff: 16. September 2024.
- 10 Smith, S. M., Geden, O., Nemet, G., Gidden, M., Lamb, W. F., Powis, C., Bellamy, R., Callaghan, M., Cowie, A., Cox, E., Fuss, S., Gasser, T., Grassi, G., Greene, J., Lück, S., Mohan, A., Müller-Hansen, F., Peters, G., Pratama, Y., Repke, T., Riahi, K., Schneid, F., Steinhauser, J., Strefler, J., Valenzuela, J. M., Minx, J. C., 2023: **The State of Carbon Dioxide Removal - 1st Edition.** The State of Carbon Dioxide Removal. doi:10.17605/OSF.IO/W3B4Z.
- 11 UFZ, 2021: **Biodiversität und Klimawandel**, https://www.ufz.de/export/data/2/254782_Workshop-Bericht_FINAL_1.pdf, Zugriff: 16. September 2024.
- 12 **Global Forest Watch**, 2023: Brazil. <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/BRA/?category=undefined>, Zugriff: 16. September 2024.
- 13 Parr, C. L., Te Beest, M., Stevens, N. 2024: **Conflation of reforestation with restoration is widespread.** In: *science* 383(6684), 698-701, doi:10.1126/science.adj08.
- 14 German Emissions Trading Authority (DEHSt) at the German Environment Agency, 2023: **Protecting peatlands is protecting the climate**, DEHSt-Factsheet. https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/EN/publications/factsheets/factsheet_peatlands.pdf?blob=publicationFile&v=1, Zugriff: 16. September 2024.
- 15 **IPCC, 2018: Summary for Policymakers.** In: *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* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24, doi:10.1017/9781009157940.001.
- 16 Engels, Anita; Jochem Marotzke; Beate Ratter; Eduardo Gonçalves Gresse; Andrés López-Rivera; Anna Pagnone; Jan Wilkens (eds.); 2024. **Hamburg Climate Futures Outlook 2024.** Conditions for Sustainable Climate Change Adaptation. Cluster of Excellence Climate, Climatic Change, and Society (CLICCS). transcript Verlag, Bielefeld (Germany)