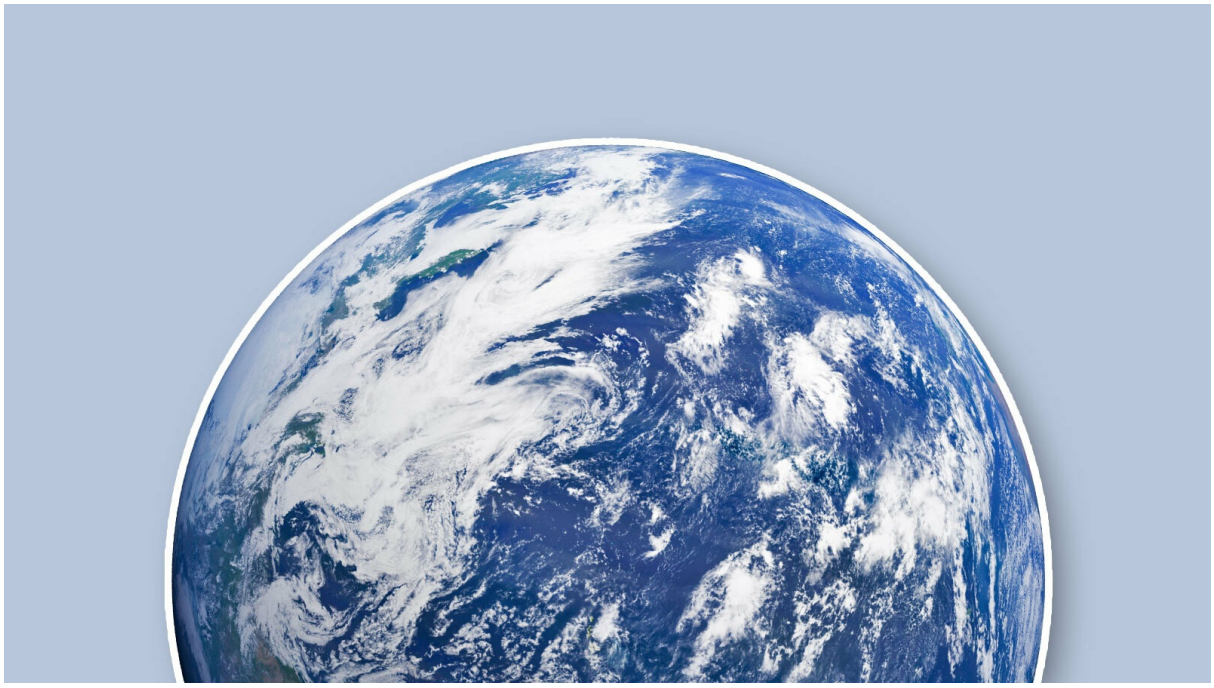


Dienstag, 29. September 2026, 17:00 Uhr
~19 Minuten Lesezeit

Der Klima-Knackpunkt

Welche Erwärmungswirkung Kohlendioxid tatsächlich hat, bleibt die zentrale Frage der Klimapolitik — und sie ist weiterhin nicht eindeutig beantwortet.

von Uwe Froschauer
Bild: Collage mit Foto von Shutterstock.com (GizemGK)

CO_2 gilt als entscheidender Faktor der Klimadiskussion. Jedes Kind lernt in der Schule mittlerweile den Treibhauseffekt kennen: Kurzwellige

Strahlen der Sonne durchdringen die Atmosphäre und erwärmen den Boden, die Wärme wird von der Erde als langwellige Infrarotstrahlung zurückgegeben, und es kommt zum Wärmestau durch Treibhausgase. Aber folgt aus der Tatsache, dass Kohlendioxid Infrarotstrahlung absorbiert, automatisch, dass sich die Temperatur der Erde um eine bestimmte Gradzahl erhöht? Hierzu gibt es auch andere Ansichten. Bevor man darüber streitet, wie stark Kohlendioxid das Klima beeinflusst, sollte zunächst geklärt werden, worüber überhaupt gesprochen wird.

Was bedeutet Treibhauseffekt?

Der Begriff „Treibhauseffekt“ klingt zunächst einfacher, als die zugrunde liegenden physikalischen Vorgänge tatsächlich sind.

Die Erde erhält den größten Teil ihrer Energie von der Sonne. Diese Energie erreicht die Erdatmosphäre überwiegend als kurzwellige Strahlung — vor allem als sichtbares Licht, daneben als ultraviolette und infrarote Strahlung. Ein Teil wird bereits von Wolken, Luftteilchen, Eis oder hellen Oberflächen zurück ins Weltall reflektiert. Ein anderer Teil durchdringt die Atmosphäre und trifft auf Landflächen und Ozeane.

Diese nehmen einen Teil der Strahlungsenergie auf und wandeln sie in Wärme um. Ein einfaches Alltagsbeispiel macht das anschaulich: Ein schwarzes Auto, das im Sommer längere Zeit in der prallen Sonne steht, heizt sich in der Regel stärker auf als ein Auto mit einer weißen Lackierung. Dunkle Oberflächen nehmen einen größeren Anteil der einfallenden Sonnenstrahlung auf, während helle

Oberflächen mehr davon reflektieren. Ähnliches geschieht an der Erdoberfläche: Je nachdem, ob Sonnenstrahlung beispielsweise auf dunklen Boden, Wald, Wasser, hellen Sand, Schnee oder Eis trifft, wird unterschiedlich viel Strahlung aufgenommen beziehungsweise zurückgeworfen. Die aufgenommene Energie erwärmt die Oberfläche. Diese gibt anschließend Wärme an die darüber liegende Luft ab und sendet zugleich Energie als Infrarotstrahlung aus.

Die erwärmte Erde behält diese Energie jedoch nicht. Wie jeder Körper mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunkts gibt auch sie Energie als Strahlung ab. Weil die Erde wesentlich kühler ist als die Sonne, geschieht dies hauptsächlich in Form langwelliger Infrarotstrahlung. Infrarotstrahlung ist für das menschliche Auge unsichtbar und wird häufig vereinfacht als Wärmestrahlung bezeichnet.

> ***Nun kommen die sogenannten Treibhausgase ins Spiel. Die wichtigsten infrarotaktiven Bestandteile der Atmosphäre — darunter Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan und Lachgas — können bestimmte Wellenlängen dieser von der Erde abgegebenen Infrarotstrahlung aufnehmen.***

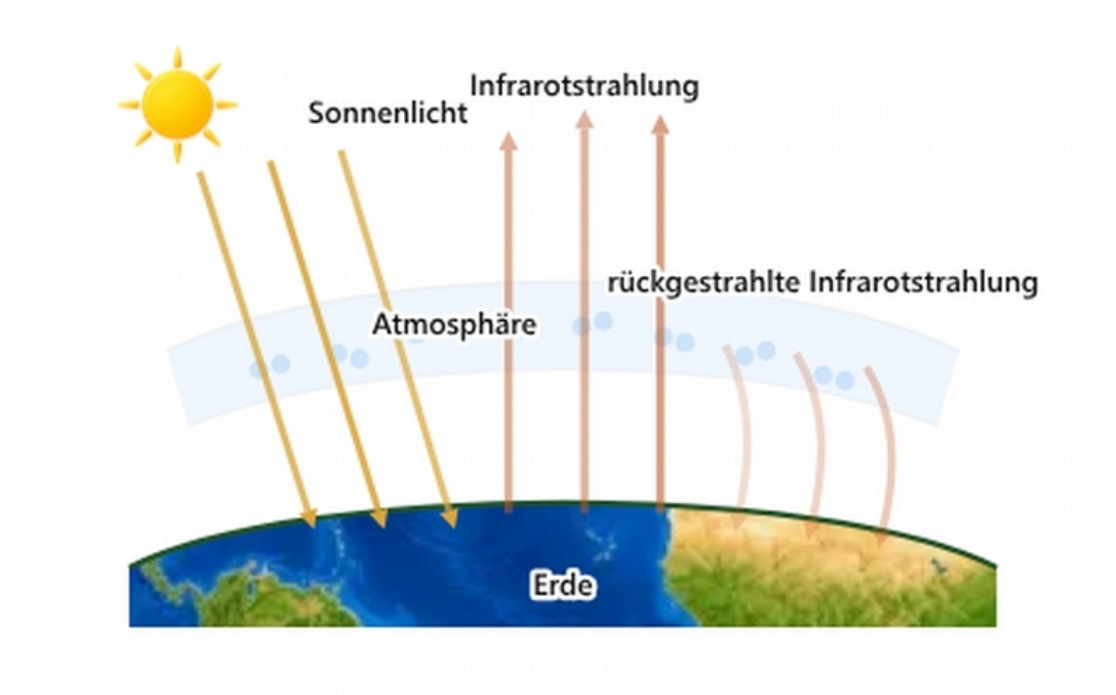
Das bedeutet vereinfacht: Sie reagieren nicht auf die gesamte Wärmestrahlung gleichermaßen. Man kann es sich ein wenig wie verschiedene Radiosender vorstellen: Ein Empfänger reagiert nur auf bestimmte Frequenzbereiche. Ähnlich können unterschiedliche Moleküle bestimmte Bereiche des Infrarotspektrums besonders gut aufnehmen.

Ein CO_2-Molekül hält allerdings die einmal eingefangene Energie nicht für immer fest, sondern gibt sie auf unterschiedliche Weise weiter: durch Zusammenstöße mit anderen Luftmolekülen oder durch erneute Abgabe als Infrarotstrahlung. Diese Abstrahlung bevorzugt keine Richtung — sie kann zu allen Seiten erfolgen, wobei

nach unten gerichtete Infrarotstrahlung wiederum von der Erdoberfläche aufgenommen werden kann.

Damit wird ein Teil des Energieflusses innerhalb der Atmosphäre immer wieder aufgenommen, weitergegeben und erneut abgestrahlt. Die Abgabe von Energie ins Weltall erfolgt somit anders, als sie es bei einer Atmosphäre ohne infrarotaktive Gase tun würde.

Das ist, stark vereinfacht, der physikalische Kern des natürlichen Treibhauseffekts.



© Siemens Stiftung

Der Begriff selbst kann allerdings in die Irre führen. Ein echtes Gewächshaus wird nämlich nicht hauptsächlich dadurch warm, dass Glas Wärmestrahlung „zurückhält“. Das Glas verhindert vor allem, dass erwärmte Luft aufsteigt, sich mit kälterer Außenluft vermischt und dadurch Wärme abtransportiert wird. In der Atmosphäre wird jedoch Energie nicht einfach „eingesperrt“ wie im Gewächshaus. Beim atmosphärischen Treibhauseffekt geht es wesentlich um Strahlungsübertragung und Energieflüsse. Der Name „Treibhauseffekt“ ist also ein mental anschauliches Bild, aber keine genaue Beschreibung des physikalischen Vorgangs.

Ohne den natürlichen Treibhauseffekt wäre Leben auf der Erde kaum möglich. Häufig wird angegeben, dass die globale Mitteltemperatur der Erdoberfläche ohne diesen Effekt bei ungefähr minus 18 Grad Celsius statt bei rund plus 15 Grad Celsius läge. Diese rund 33 Grad Unterschied kann man allerdings knicht einem einzelnen Gas zuschreiben. Sie ergeben sich aus dem Zusammenspiel der Atmosphäre mit Wasserdampf, Wolken, CO_2 und anderen Gasen sowie der Erdoberfläche.

Bis hierher besteht auch noch wenig Anlass für einen Grundsatzstreit. Dass CO_2 bestimmte Bereiche der Infrarotstrahlung absorbiert, ist experimentell nachweisbare Molekülphysik. Die eigentliche Auseinandersetzung beginnt einen Schritt später.

Aus der Feststellung, dass ein CO_2-Molekül Infrarotstrahlung aufnehmen kann, folgt noch nicht unmittelbar, um wie viele Grad sich die globale Durchschnittstemperatur verändert, wenn die CO_2-Konzentration beispielsweise von 280 auf 420 oder von 420 auf 560 ppm (parts per million, also Teile pro einer Million Teilen) steigt. Dafür muss betrachtet werden, wie das gesamte Klimasystem darauf reagiert. Und dort begegnet man wieder Wolken, Ozeanen, Temperaturunterschieden in der Atmosphäre und vor allem einem Stoff, der in der öffentlichen CO_2-Diskussion häufig kaum vorkommt: dem Wasser.

Wasserdampf ist selbst ein stark wirksamer Bestandteil des natürlichen Treibhauseffekts und kommt in der Atmosphäre — je nach Ort, Höhe und Wetterlage in erheblich größeren und zugleich stark schwankenden — Konzentrationen vor als CO_2.

Damit stellt sich die nächste Frage: Welche Rolle spielt Wasserdampf tatsächlich — und warum wird er in der etablierten

Klimaphysik überwiegend als Rückkopplung behandelt, während CO_2 als langfristiger Antrieb gilt?

Wasserdampf — Mitspieler oder Hauptakteur

Bei Gesprächen über Treibhausgase steht fast immer CO_2 im Mittelpunkt. Dabei gerät leicht aus dem Blick, dass Wasserdampf das häufigste Treibhausgas der Atmosphäre ist und einen erheblichen Anteil am natürlichen Treibhauseffekt hat.

> ***Eine NASA-Auswertung veranschlagt den direkten Beitrag von Wasserdampf zum gegenwärtigen natürlichen Treibhauseffekt auf ungefähr 50 Prozent, Wolken auf weitere rund 25 Prozent und CO_2 auf etwa 20 Prozent. Diese Werte lassen sich wegen überlappender Absorptionsbereiche — dieser Begriff wird später erklärt — nicht exakt benennen, zeigen aber die Größenordnung.***

Schon die Mengenverhältnisse fallen ins Auge. CO_2 liegt heute bei etwas mehr als 420 ppm, also gut 0,04 Prozent der trockenen Luft. Wasserdampf schwankt dagegen sehr stark: Über trockenen und kalten Regionen ist nur wenig davon vorhanden, in warmer und feuchter Luft kann sein Anteil mehrere Prozent erreichen. Einen einzigen weltweit gültigen Wasserdampfwert gibt es deshalb nicht.

Michael Limburg, Diplom-Ingenieur für Mess-, Regelungs- und Elektrotechnik und Vizepräsident von EIKE (Europäisches Institut für Klima und Energie e. V.) setzt an diesem Mengenunterschied an. In einem Vortrag von 2026 stellt er beispielsweise einem Wasserdampfanteil von 1,5 Volumenprozent einen CO_2-Anteil von etwa 0,042 Prozent gegenüber. Danach wäre Wasserdampf

mengenmäßig rund 36-mal häufiger vorhanden als CO_2. Daraus leitet Limburg die Frage ab, ob CO_2 tatsächlich die ihm zugeschriebene herausragende Rolle als Klimatreiber besitzt.

Die Frage ist zunächst nachvollziehbar. Die Schlussfolgerung „36-mal mehr Moleküle bedeuten 36-mal mehr Klimawirkung“ wäre physikalisch allerdings nicht zulässig. Denn bei Treibhausgasen entscheidet nicht allein die Zahl der Moleküle, sondern auch, welche Bereiche der Infrarotstrahlung sie aufnehmen und wie stark sie dort wirken. Man kann sich diese Bereiche vereinfacht wie unterschiedliche Schlösser vorstellen: Nicht jeder Schlüssel passt in jedes Schloss — manche Schlüssel passen aber zu mehreren. Ähnlich absorbieren Wasserdampf und CO_2 unterschiedliche, teilweise jedoch auch dieselben Bereiche der Infrarotstrahlung. Hinzu spielt eine Rolle, in welcher Höhe und Verteilung die Gase in der Atmosphäre vorkommen.

Wasserdampf — seine Rolle im Treibhauseffekt

Wasserdampf ist selbst ein bedeutendes Treibhausgas und spielt aufgrund seiner vergleichsweise hohen und stark schwankenden Konzentration eine wichtige Rolle im natürlichen Treibhauseffekt.

Limburgs Ausgangspunkt ist in meinen Augen deshalb außerordentlich wichtig: Wasser darf bei der Betrachtung des Treibhauseffekts keinesfalls zur Nebensache werden.

Damit drängt sich eine nahe liegende Frage auf: Wenn Wasserdampf selbst ein bedeutendes Treibhausgas ist und in wesentlich höheren Konzentrationen vorkommt als CO_2, warum steht dann ausgerechnet Kohlendioxid im Mittelpunkt der Klimadebatte?

Die Antwort der etablierten Klimaphysik liegt weniger in der unmittelbaren Treibhauswirkung der beiden Gase als in ihrer unterschiedlichen Rolle bei längerfristigen Temperaturveränderungen. Vereinfacht gesagt wird CO_2 dabei eher als *Antrieb* betrachtet, Wasserdampf dagegen vor allem als *Verstärker* einer bereits begonnenen Erwärmung. Antrieb bedeutet dabei vereinfacht: Etwas stößt eine Veränderung an; ein Verstärker setzt erst danach ein und vergrößert diese Veränderung.

Der Grund liegt unter anderem in ihren unterschiedlichen Eigenschaften.

> ***Wasser kann unter den Bedingungen der unteren Atmosphäre kondensieren. Aus Wasserdampf entstehen Wassertröpfchen oder Eiskristalle; schließlich gelangt Wasser als Regen oder Schnee wieder zur Erdoberfläche.***

Seine Konzentration in der Atmosphäre kann deshalb innerhalb kurzer Zeit erheblich schwanken. CO_2 verhält sich anders: Unter normalen atmosphärischen Bedingungen kann es sich deshalb über wesentlich längere Zeiträume in der Atmosphäre verteilen.

Daraus leitet die etablierte Klimaphysik folgende Erklärung ab: Steigt die Temperatur zunächst aus einem anderen Grund — beispielsweise durch eine Veränderung der Strahlungsbilanz, die eine Erwärmung bewirkt —, kann mehr Wasser verdunsten. Gleichzeitig kann wärmere Luft grundsätzlich mehr Wasserdampf enthalten. Dieser zusätzliche Wasserdampf verstärkt wiederum den Treibhauseffekt und damit die bereits begonnene Erwärmung. Das bezeichnet man — wie an anderer Stelle bereits ausgeführt — als positive Rückkopplung. „Positiv“ bedeutet dabei nicht „gut“, sondern lediglich verstärkend.

Ein Mikrofon vor einem Lautsprecher liefert dafür ein anschauliches, wenn auch vereinfachtes Bild: Am Anfang steht ein

Ton — er entspricht in diesem Vergleich dem ursprünglichen *Antrieb*. Das Mikrofon nimmt diesen Ton auf, das Signal wird verstärkt und über den Lautsprecher wieder ausgegeben. Gelangt ein Teil dieses verstärkten Schalls erneut zum Mikrofon, wird er abermals verstärkt. Diese Rückkopplung entspricht hier dem *Verstärker*. Wiederholt sich der Vorgang, kann sich das Signal immer weiter aufschaukeln — bis hin zum schrillen, ohrenbetäubenden Pfeifton.

Ähnliches ist mit einer positiven Rückkopplung im Klimasystem gemeint: Eine ursprüngliche Veränderung löst einen weiteren Prozess aus, der die erste Veränderung zusätzlich verstärkt.

Der IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) bewertet die Rückkopplung durch Wasserdampf als einen wesentlichen Verstärkungsmechanismus des Klimasystems. Zusammen mit der Veränderung des Temperaturverlaufs zwischen Erdoberfläche und höheren Luftschichten liefert sie nach seiner Einschätzung den größten einzelnen positiven Rückkopplungsbeitrag. Beobachtungen zeigen zudem, dass die atmosphärische Feuchtigkeit bei einer Erwärmung grundsätzlich zunimmt.

Die etablierte Klimaforschung betrachtet Wasserdampf also keineswegs als unbedeutend. Der eigentliche Streitpunkt ist die Gewichtung: CO_2 wird als längerfristiger Antrieb behandelt, Wasserdampf überwiegend als darauf reagierender Verstärker. Diese Gewichtung stellt Michael Limburg infrage. Er rückt Wasserdampf zusammen mit der Sonneneinstrahlung wesentlich stärker in den Vordergrund und bezweifelt, dass dem vergleichsweise seltenen CO_2 jene dominante Rolle zukommt, die ihm in der gegenwärtigen Klimadebatte zugeschrieben wird. Den Ausführungen von Michael Limburg kann ich Einiges abgewinnen — auch wenn er von Widersachern ständig diffamiert und diskreditiert wird —, zumal die Bezeichnung des Wasserdampfs als

„verstärkende“ Rückkopplung noch nicht beantwortet, wie groß seine tatsächliche Bedeutung im Zusammenspiel von Temperatur, Wolken, Verdunstung und Niederschlag ist.

Damit führt die Betrachtung des Wasserdampfs unmittelbar zur nächsten Frage: Wenn Wasserdampf bereits große Bereiche der von der Erde abgegebenen Infrarotstrahlung absorbiert und sich seine Absorptionsbereiche teilweise mit denen des CO_2 überschneiden, wie viel zusätzliche Wirkung bleibt dann überhaupt noch für CO_2 — und wie stark kann diese die Erde tatsächlich erwärmen? Gibt es Bereiche, in denen die Wirkung des CO_2 bereits weitgehend ausgeschöpft ist? Oder führt jede weitere Erhöhung seiner Konzentration zu einer zusätzlichen Veränderung der Strahlungsbilanz — und damit letztlich auch der Temperatur?

Ist die CO_2-Wirkung irgendwann „gesättigt“?

Diese Frage klingt zunächst einfach: Wenn Wasserdampf bereits einen erheblichen Teil der von der Erde abgegebenen Wärmestrahlung aufnimmt und CO_2 zusätzlich in bestimmten, teilweise gleichen Bereichen wirkt — wie viel Wärmestrahlung bleibt dann überhaupt noch übrig, auf die zusätzliches CO_2 Einfluss nehmen kann?

Hier fällt in der Klimawissenschaft häufig der Begriff Sättigung. Stellen Sie sich vor, Sie möchten einen Raum abdunkeln und kleben dafür eine leicht getönte Folie auf das Fenster. Die erste Lage reduziert den Lichteinfall deutlich. Eine zweite verdunkelt den Raum weiter, aber der zusätzliche Effekt ist bereits geringer. Bei vielen übereinander liegenden Folien macht eine weitere Lage schließlich nur noch einen kleinen Unterschied. Übertragen auf CO_2 lautet die Frage: Gibt es Wellenlängenbereiche, in denen bereits so

viel der von der Erde abgegebenen Infrarotstrahlung absorbiert wird, dass zusätzliche CO_2-Moleküle dort kaum noch etwas verändern können?

Ja, solche stark gesättigten Bereiche gibt es. CO_2 kann nicht jede von der Erde abgegebene Wärmestrahlung gleichermaßen aufnehmen, sondern reagiert besonders stark auf bestimmte Wellenlängenbereiche. Einen solchen Bereich bezeichnet man als Absorptionsband.

In einem Teil dieses Absorptionsbandes ist die Wirkung bereits sehr stark: Dort befinden sich auf dem Weg der Strahlung durch die Atmosphäre genügend CO_2-Moleküle, sodass ein sehr großer Teil der betreffenden Wärmestrahlung aufgenommen wird. Zusätzliches CO_2 kann in diesem bereits weitgehend gesättigten Bereich deshalb vergleichsweise wenig verändern.

> ***Die Ränder eines solchen Absorptionsbandes darf man sich allerdings nicht räumlich vorstellen. Gemeint sind also nicht etwa die Ränder einer CO_2-Schicht in der Atmosphäre, sondern benachbarte Wellenlängen der Infrarotstrahlung.***

Im Zentrum des Absorptionsbandes werden bestimmte Wellenlängenbereiche der von der Erde abgegebenen Infrarotstrahlung besonders stark absorbiert, während die Absorption an den Rändern schwächer ist.

Kommt zusätzliches CO_2 in die Atmosphäre, verändert sich deshalb im bereits stark gesättigten Zentrum vergleichsweise wenig. An den weniger gesättigten Randbereichen kann zusätzliches CO_2 dagegen noch weitere Infrarotstrahlung aufnehmen.

Sättigung bedeutet deshalb nicht automatisch, dass zusätzliches

CO_2 überhaupt keine weitere Wirkung mehr besitzt. Nach der etablierten Strahlungsphysik nimmt vielmehr der zusätzliche Effekt mit steigender CO_2-Konzentration ab — er verschwindet aber nicht einfach.

Das ist der Grund, weshalb die etablierte Klimaphysik nicht von einer linearen, sondern näherungsweise von einer logarithmischen CO_2-Wirkung ausgeht. Das klingt komplizierter, als es ist: Eine Verdoppelung von beispielsweise 280 auf 560 ppm erzeugt ungefähr denselben zusätzlichen Strahlungsantrieb wie eine weitere Verdoppelung von 560 auf 1.120 ppm. Dieser zusätzliche Strahlungsantrieb führt nach der etablierten Klimaphysik wiederum zu einer zusätzlichen Erwärmung. Für denselben zusätzlichen Effekt benötigt man also immer mehr CO_2. Der IPCC berücksichtigt diesen abnehmenden zusätzlichen Effekt.

Limburgs Einwand

Michael Limburg und andere Kritiker setzen an diesem Sättigungseffekt an, ziehen daraus aber eine wesentlich weitergehende Schlussfolgerung. Auf EIKE (dem einzigen deutschen Klima- und Energie-Institut, das vollständig privat finanziert wird und regelmäßig Konferenzen zu Klima und Energie veranstaltet) vertraten die Teilnehmer auf der 13. Internationalen EIKE-Klima- und Energiekonferenz (IKEK-13) am 22. und 23. November 2019 in München die Auffassung, der CO_2-Treibhauseffekt sei bereits bei deutlich niedrigeren Konzentrationen weitgehend „ausgereizt“ gewesen. Weiteres CO_2 könne demnach nur noch wenig zusätzliche Erwärmung bewirken. Limburg stellt zudem die Bedeutung des Wasserdampfs und der Wolken gegenüber CO_2 stärker heraus.

Damit stehen sich zwei Aussagen gegenüber, die man sauber auseinanderhalten sollte.

Die erste: Teile der CO_2-Absorption sind tatsächlich stark gesättigt. Das ist kein Außenseiterargument, sondern wird auch vom IPCC beschrieben.

Die zweite: Daraus folge, dass zusätzliches CO_2 heute praktisch keine relevante Erwärmungswirkung mehr besitzen könne. Diese weitergehende Schlussfolgerung wird von der etablierten Klimaphysik bestritten. Sie verweist auf die weniger gesättigten Randbereiche der Absorptionsbanden und zusätzlich auf die Höhe in der Atmosphäre, aus der Wärmestrahlung letztlich ins Weltall entweichen kann. Sie begründet die weitere Wirkung zusätzlichen CO_2 unter anderem damit, dass die Atmosphäre nach oben dünner und kälter wird. Mehr CO_2 führt nach dieser Erklärung zunächst dazu, dass etwas weniger Wärmestrahlung ins Weltall entweicht. Dadurch nimmt das Klimasystem vorübergehend mehr Energie auf, als es abgibt, und erwärmt sich. Da ein wärmerer Körper mehr Energie abstrahlt als ein kälterer, steigt mit der Temperatur auch die Abstrahlung ins Weltall — bis sich Aufnahme und Abgabe von Energie wieder ausgleichen. Das neue Gleichgewicht liegt nach dieser Theorie bei einer höheren Temperatur.

Damit ist allerdings noch nicht beantwortet, wie groß diese zusätzliche Erwärmung tatsächlich ausfällt. Dass zusätzliches CO_2 trotz teilweise gesättigter Absorptionsbereiche weiterhin eine Wirkung haben kann, ist das eine. Wie viele Zehntel oder ganze Grad Celsius daraus entstehen, ist eine andere Frage — denn dabei spielen wiederum Wasserdampf, Wolken, Ozeane und weitere Rückkopplungen eine Rolle. Ja, ein komplexes System und nicht einfach zu verstehen.

Der IPCC berechnet für eine Verdoppelung der CO_2-Konzentration zunächst einen zusätzlichen Strahlungsantrieb von knapp vier Watt pro Quadratmeter. Vereinfacht ausgedrückt beschreibt dieser Wert, wie stark sich dadurch die Energiebilanz der Erde verändert.

Von Watt pro Quadratmeter zu Grad Celsius

Der IPCC geht davon aus, dass eine Verdoppelung der CO_2-Konzentration die Energiebilanz der Erde um knapp vier Watt pro Quadratmeter verändert. Doch wie werden aus knapp vier Watt pro Quadratmeter schließlich die häufig genannten rund 3 Grad Celsius Erwärmung? Würde man vereinfacht nur die unmittelbare Reaktion auf diese Veränderung betrachten und weitere Rückkopplungen zunächst außer Acht lassen, ergäbe sich eine Erwärmung von etwas mehr als 1 Grad Celsius.

Hier kommen die Rückkopplungen ins Spiel. Erwärmt sich die Erde, kann beispielsweise mehr Wasser verdunsten. Der zusätzliche Wasserdampf verstärkt nach etablierter Klimaphysik die Erwärmung. Schmelzen Schnee und Eis, kommen dunklere Flächen zum Vorschein, die mehr Sonnenenergie aufnehmen. Hinzu kommen Veränderungen der Wolken, deren Wirkung komplizierter ist, weil sie je nach Art, Höhe und Situation sowohl kühlend als auch erwärmend wirken können.

Der IPCC berücksichtigt diese und weitere Prozesse und kommt für eine Verdoppelung der CO_2-Konzentration langfristig auf eine Schätzung von etwa 3 Grad Erwärmung. Dabei handelt es sich ausdrücklich nicht um einen exakt feststehenden Wert; der IPCC nennt eine wahrscheinliche Bandbreite von 2,5 bis 4 Grad Celsius.

Darin liegt der für mich als Skeptiker interessante Punkt: Zwischen „CO_2 nimmt Infrarotstrahlung auf“ und „eine Verdoppelung des CO_2 führt zu rund 3 Grad Erwärmung“ liegen also mehrere weitere Schritte. Sie beruhen auf physikalischen Erkenntnissen, Beobachtungen, Rekonstruktionen und Modellrechnungen — und sind mit Unsicherheiten verbunden.

Eine wichtige Frage lautet deshalb: Wie zuverlässig lassen sich diese Rückkopplungen bestimmen? Doch bevor aus Messungen, Berechnungen und Modellen Aussagen über Zehntelgrade oder ganze Grade abgeleitet werden, stellt sich noch eine viel grundlegendere Frage: Wie zuverlässig lässt sich die globale Temperatur überhaupt bestimmen?

Denn eine „Temperatur der Erde“ kann man nicht einfach an einem einzigen Thermometer ablesen. Sie ergibt sich aus unzähligen Messungen an Land und auf See, aus unterschiedlichen Messverfahren und aus statistischen Auswertungen.

Damit komme ich zu einem weiteren Punkt, der für die Klimadebatte von erheblicher Bedeutung ist:

Wie misst man die Temperatur der Erde?

Wenn von einer künftigen globalen Erwärmung um 1,2, 1,5 oder vielleicht 2 Grad gesprochen wird, entsteht der Eindruck, die „Temperatur der Erde“ sei eine unmittelbar messbare Größe. Auf der Erde herrschen gleichzeitig völlig unterschiedliche Temperaturen: in der Sahara andere als in Grönland, über dem Atlantik andere als über München, nachts andere als am Nachmittag und in zwei Metern Höhe andere als unmittelbar über dem Asphalt. Die globale Mitteltemperatur wird also aus einer riesigen Zahl einzelner Messungen berechnet.

An Land werden Lufttemperaturen üblicherweise in ungefähr zwei Metern Höhe gemessen. Über den Ozeanen — die immerhin rund 71 Prozent der Erdoberfläche bedecken — stammen die Daten dagegen unter anderem von Schiffen und Bojen. Moderne globale Datensätze führen diese unterschiedlichen Messungen zusammen. Dabei wird

vor allem betrachtet, wie stark die gemessene Temperatur von einem festgelegten langjährigen Vergleichswert abweicht. Diese Abweichung nennt man Temperaturanomalie. Liegt die Temperatur beispielsweise 1 Grad über dem Vergleichswert, beträgt die Anomalie plus 1 Grad. Aus sehr vielen solcher Werte wird anschließend die globale Temperaturentwicklung berechnet.

Das klingt zunächst vernünftig. Aber hier stellen sich Fragen, auf die Michael Limburg seit Jahren hinweist.

Was misst eine Wetterstation eigentlich?

Eine Wetterstation misst zunächst nur die Temperatur an ihrem konkreten Standort. Und dieser Standort spielt eine erhebliche Rolle. Eine Messstation auf einer Wiese liefert sicher andere Werte als eine Station zwischen Gebäuden. Asphalt und Beton erwärmen sich anders als Gras oder Wald. Eine Stadt speichert Wärme anders als ihre ländliche Umgebung. Wasserflächen reagieren wiederum anders als Landflächen.

Hinzu kommt, dass sich Messbedingungen im Laufe von Jahrzehnten verändern können. Städte wachsen um ehemalige Wetterstationen herum. Stationen werden versetzt. Messgeräte werden ausgetauscht. Beobachtungszeiten ändern sich. Ob die gemessene Temperatur eines Thermometers aber für eine größere Fläche repräsentativ ist, ist eine andere Frage.

Limburg setzt seine Kritik an diesem Punkt an. Er bezweifelt, dass aus historisch gewachsenen, räumlich ungleich verteilten und teilweise veränderten Messnetzen eine globale Temperaturentwicklung mit jener Genauigkeit bestimmt werden kann, mit der sie häufig öffentlich präsentiert wird. Besonders

kritisch sieht er die Bildung einer „globalen Mitteltemperatur“ und die nachträgliche Bearbeitung beziehungsweise Homogenisierung von Messreihen. In einem Beitrag von 2025 bezeichnete er die globale Mitteltemperatur als ungeeignet, daraus ein eindeutiges Signal abzuleiten.

Wärmeinseln, Stationswechsel und Korrekturen

Dass Städte sogenannte Wärmeinseln bilden, bestreiten etablierte Klimaforscher nicht. Ebenso wenig, dass Stationsverlegungen, Gerätewechsel und andere Veränderungen Messreihen beeinflussen können. Deshalb werden historische Temperaturdaten überprüft und teilweise statistisch korrigiert beziehungsweise homogenisiert. Das wiederum eröffnet einen neuen Streitpunkt: Wann beseitigt eine Korrektur einen Messfehler — und wann verändert sie eine Messreihe möglicherweise stärker als gerechtfertigt? Dass solche Fragen keineswegs nur theoretischer Natur sind, zeigte die sogenannte Climategate-Affäre von 2009. Tausende bekannt gewordene E-Mails von Klimaforschern lösten damals eine heftige Debatte über den Umgang mit Daten, statistischen Verfahren, Transparenz und wissenschaftlichem Widerspruch aus. Mehrere spätere „Untersuchungen“ fanden zwar keinen Beleg für eine vorsätzliche Fälschung der Klimadaten. Fragen nach Transparenz und wissenschaftlicher Praxis blieben dennoch offen. Darauf werde ich in einem späteren Kapitel noch ausführlicher zurückkommen.

Hier genügt zunächst die Feststellung: Wo Messdaten nachträglich korrigiert, homogenisiert und zu globalen Reihen zusammengeführt werden, müssen die verwendeten Verfahren nachvollziehbar und überprüfbar sein.

Die Rolle der Ozeane

Mehr als zwei Drittel der Erdoberfläche bestehen aus Wasser. Eine globale Temperaturbestimmung kann sich deshalb selbstverständlich nicht allein auf Wetterstationen an Land stützen. Über den Meeren haben unter anderem Schiffe die Temperaturen gemessen. Heute spielen Bojen und weitere Beobachtungssysteme eine wichtige Rolle. Diese Messungen werden mit den Landdaten zu globalen Datensätzen verbunden, denen unterschiedliche Messgrößen und Messverfahren zugrunde liegen: An Land wird überwiegend die Lufttemperatur in etwa zwei Metern Höhe gemessen, über den Ozeanen dagegen meist die Temperatur des Wassers nahe der Meeresoberfläche. Hinzu kommt, dass sich auch die Messmethoden auf See im Laufe der Zeit verändert haben — vom Wassereimer und Schiffsmessungen bis zu modernen Bojen. Für eine globale Temperaturreihe müssen diese unterschiedlichen Daten deshalb mathematisch aufeinander abgestimmt und zusammengeführt werden.

> ***Verschiedene internationale Datensätze kommen trotz unterschiedlicher Verfahren zu dem Ergebnis, dass sich die Erde langfristig erwärmt hat. Das spricht für einen grundsätzlichen Erwärmungstrend, beantwortet aber weder die Frage nach seiner exakten Größenordnung noch nach seinen Ursachen.***

Insbesondere ist damit noch nicht geklärt, welcher Anteil dieser Erwärmung auf CO_2 und welcher auf andere natürliche oder menschliche Einflussfaktoren zurückzuführen ist.

Darin sehe ich eine entscheidende Grenze: Gemessen werden Temperaturen. Die Ursachen der daraus berechneten Veränderungen werden hingegen wissenschaftlich untersucht und aus den Messdaten abgeleitet. Wenn aus diesen Ableitungen anschließend politische Gewissheit wird, obwohl über

Größenordnungen, Rückkopplungen und natürliche Einflüsse weiterhin diskutiert werden muss, sollte man genauer hinsehen.

Messung, Modell und politische Gewissheit

Abschließend stellt sich darum für mich die Frage: Was macht die Politik aus wissenschaftlichen Erkenntnissen? Wissenschaftler arbeiten mit Messungen, Wahrscheinlichkeiten, Bandbreiten und Unsicherheiten. In der politischen Kommunikation verschwinden diese Abstufungen jedoch häufig. Sie macht aus wissenschaftlichen Einschätzungen Gewissheiten — und aus einem komplexen Klimasystem entsteht ein simples politisches Narrativ:

> ***CO_2 ist die maßgebliche Ursache der Erwärmung und muss deshalb reduziert werden.***

Diese Verkürzung halte ich für mehr als nur problematisch. Aus einer wissenschaftlichen Aussage mit Bandbreiten und Unsicherheiten wird in der politischen Debatte eine scheinbar unumstößliche Gewissheit.

Mir ist das zu einfach. Wie groß der zusätzliche Erwärmungseffekt des CO_2 innerhalb des Klimasystems tatsächlich ist, bleibt deshalb für mich eine zentrale Frage — die nach wie vor nicht beantwortet ist.

Einwände von Michael Limburg und anderer Kritiker sind für mich nicht mit dem Etikett „Klimaleugner“ erledigt — ganz im Gegenteil. Wer wissenschaftliche Gewissheit beansprucht, muss sich auch mit Gegenargumenten auseinandersetzen und erklären können, warum sie falsch sein sollen.

Damit komme ich zum *Fazit* dieses Kapitels: CO_2 ist ein Treibhausgas. Aber aus dieser physikalischen Tatsache allein wird noch kein „Klimakiller“. Zwischen der nachweisbaren Strahlungswirkung eines CO_2-Moleküls und Aussagen darüber, wie sich die globale Temperatur in mehreren Jahrzehnten entwickeln wird, liegen Messungen, Berechnungen, Rückkopplungen und Modelle.

Wissenschaft sollte die Grenzen ihrer Aussagen sichtbar machen. Politik neigt dazu, daraus Gewissheiten zu formen. Diese Gewissheiten werde ich in den nächsten Kapiteln hinterfragen.

Uwe Froschauer hat an der Ludwig-Maximilians-Universität München Betriebswirtschaft studiert und abgeschlossen. Sein besonderes Interesse galt der Wirtschaftspsychologie. Er arbeitete als Unternehmensberater, gibt Seminare bei Berufsbildungsträgern, ist Autor mehrerer Bücher und betreibt den Blog **wassersaege.com** (https://wassersaege.com/). Seine Leidenschaft für weltweite Reisen machte ihn sensibel für Kulturen und Probleme anderer Völker. Er ist naturverbunden und liebt Tiere und Pflanzen.