



Unser CO₂-Problem

Inhalt

Vorbemerkungen	1
1. Die Bedeutung der Biota im Kohlenstoffkreislauf	2
2. Wie konnten die Biota die anthropogenen Emissionen ausgleichen?	6
3. Alles gut im deutschen Wald?	10
4. Dürfen wir auf die EU hoffen?	14
Anhang: Der vernachlässigte Wasserdampf in der Atmosphäre	20

Vorbemerkungen

CO₂ gilt – neben Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) – als unser Hauptproblem beim Klimawandel. Als Abfallprodukt aus der Verbrennung fossiler Energieträger (Erdöl, Erdgas, Kohle) in menschengemachten technischen Anlagen steigt es in die Erdatmosphäre auf, absorbiert dort Sonnenenergie als Wärme, wodurch sich die Erde aufheizt. So die landläufige Vorstellung.

Schon beim „Aufsteigen“ stimmt dies Bild nicht, weil CO₂ deutlich schwerer ist als Luft und daher zu Boden sinkt. Allerlei Bewegung in der Atmosphäre (Konvektion, Winde bis hin zum Jetstream) bewirkt erst, dass sich das CO₂ auch in höheren Atmosphärenschichten verteilt und dort die Absorption von Sonnenenergie als Wärme bewirkt¹. Diese Verteilung ist jedoch komplex und führt keineswegs zu einer gleichförmigen globalen ‚Treibhauhülle‘ (dazu mehr in Abschnitt 2).

Zweifellos ist das in der Atmosphäre verwirbelte CO₂ ein Gas, das den Wärmehaushalt der Erde erheblich beeinflusst. Primär hat es in erdgeschichtlicher Zeit daran mitgewirkt, dass auf der Erde gute Lebensbedingungen entstanden. Die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger im Zuge der Industrialisierung führten jedoch zu einer erheblichen Störung in diesem immer wieder schwankenden, jedoch die Lebensbedingungen sichernden Wärmehaushalt der Erde.

Das ist keine neue Erkenntnis, die etwa der „Weltklimarat“ (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change) erstmals in die Welt gesetzt hat. So führte z.B. ein einschlägiges Chemielexikon bereits im Jahre 1966 aus²:

In den letzten 100 Jahren hat der Mensch durch Kohleverbrennung usw. rd. 360 Mrd. t CO₂ zusätzlich in die Lufthülle abgegeben; dadurch wurde der CO₂-Gehalt der Luft um ca. 13 % und die Durchschnittstemperatur um ca. 0,5° C erhöht. Bis zum Jahr 2000 würde bei gleichbleibender Kohle- u. Erdölverbrennung die Steigerung des CO₂-Gehalts der Luft zu einer Erhöhung der Durchschnittstemperatur um 2° C führen. Bis in rund 1.000 Jahren, wenn alle irdischen Brennstoffvorräte (ca. 40.000 Mrd. t) verheizt sein werden, dürfte der CO₂-Gehalt der Luft 18-mal höher sein als heute; und wenn davon auch die Hälfte ins

¹ vgl. die Betrachtung des globalen Energiekreislaufs in: <http://homersheimat.de/res/pdf/Klimaanpassung.pdf> (insbes. dortiger Anhang)

² Hermann Römpp, Chemielexikon, Band II, Stichwort „Kohlendioxid“, Sp. 3319, Stuttgart 1966

Meerwasser übergeht, dürfte dies immer noch zu einer Steigerung der Durchschnittstemperatur um ca. 10° C führen.

Der hier nüchtern prognostizierte, global-durchschnittliche Temperaturanstieg um 10 ° wäre für menschliches Leben auf der Erde unerträglich. Das Chemielexikon macht – rückblickend besehen – nur einen Fehler: Als CO₂-Senke werden lediglich die Ozeane gesehen. Deshalb wird die anthropogen bewirkte Temperaturentwicklung überschätzt, die 2000 nicht bereits +2 °C betrug, sondern nur ungefähr die Hälfte.

Dieser reduzierte Blick auf „CO₂-Senken“ – d.h. auf Potentiale, die emittiertes CO₂ der Atmosphäre wieder entziehen und binden – wirkt noch in den IPCC-Berichten fort. Die CO₂-Senken erhalten auch dort nicht ihren angemessenen Stellenwert. Die anthropogenen CO₂-Emissionen, auf die sich der IPCC konzentriert, machen trotz ihrer Klima-verändernden Wirkung nur einen kleinen Teil dessen aus, was man als den „globalen Kohlenstoffkreislauf“ bezeichnet. Und darin kommt den **Biota** – also allen Lebensgemeinschaften auf der Erde mit regulativer Kraft³ – eine entscheidende Bedeutung zu. Diese aber werden sukzessive zerstört, seit Menschen in die Natur eingreifen – rapide beschleunigt im Zug der kapitalistischen Industrialisierung, die auch für die CO₂-Emissionen aus fossilen Energieträgern verantwortlich ist.

1. Die Bedeutung der Biota im Kohlenstoffkreislauf

Man muss zur nachfolgenden Abb. 1 schon genau in die Erläuterungen der Quelle schauen: Entgegen der Überschrift „The global carbon cycle“ wird dort keineswegs der „globale Kohlenstoffkreislauf“ zwischen Atmosphäre und Erdoberfläche dargestellt, sondern lediglich die „allgemeine **Störung** des globalen Kohlenstoffkreislaufs durch anthropogene Aktivitäten“.

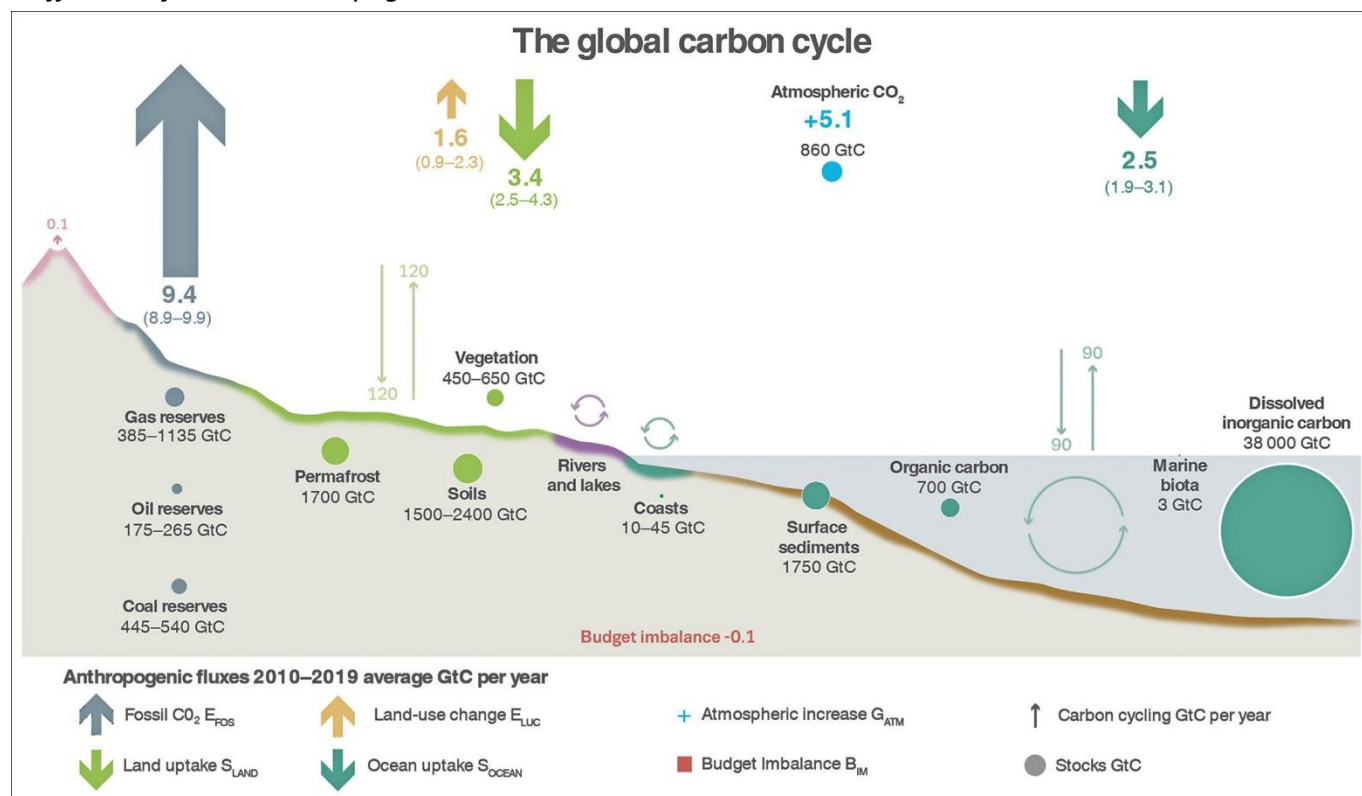


Abb. 1: „Schematische Darstellung der allgemeinen Störung des globalen Kohlenstoffkreislaufs durch anthropogene Aktivitäten, global gemittelt für das Jahrzehnt 2010–2019“⁴

³ Die Regulation der Lebensbedingungen auf der Erde durch die Biota ist ein Schlüsselgedanke in der wegweisenden Studie von Victor Gorshkov et al, Biotic Regulation of the Environment. Key Issue of Global Change. Springer, UK, 2000 (s.a. die Quelle in Fußnote 1). Die Art des *Homo sapiens* wird nicht zu den Biota gezählt, da allein der Mensch *störend* in diese Regulation eingreift. Ebenso wenig werden die Viren zu den Biota gezählt.

⁴ Friedlingstein, P. et al., 2020: Global Carbon Budget 2020. Earth System Science Data, 12(4), 3269–3340, <https://essd.copernicus.org/articles/12/3269/2020>, Fig. 2. Diese Forschungsarbeit ist die wesentliche Grundlage für die Darstellung des Kohlenstoffkreislaufs durch das IPCC.

Ins Auge fällt vor allem der fette graue Pfeil ganz links, der die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energien E_{FOS} repräsentiert (alle Angaben in Gigatonnen pro Jahr – Gt/y). Diese anthropogenen Emissionen werden durch zwei gegenläufige Prozesse teilweise kompensiert:

- durch CO₂-Aufnahme auf Land („Land uptake S_{LNAD}“, grüner Pfeil)
- sowie Aufnahme durch die Ozeane („Ocean uptake S_{OCEAN}“, türkiser Pfeil).

Unter Berücksichtigung von weiteren CO₂-Emissionen durch Landnutzungsänderung („Land-use change E_{LUC}“, hellbrauner Pfeil) ergibt sich ein Saldo von 5,1 Gt Kohlenstoff, der im Jahrzehnt von 2010 bis 2019 *jahresdurchschnittlich* in die Atmosphäre eingetragen wurde: hellblauer Wert „+5,1“ zum viel zu klein dargestellten hellblauen Punkt darunter, der den Kohlenstoff-Gesamtvorrat in der Atmosphäre von geschätzten 860 Gt repräsentieren soll.

Gemessen an den fetten Pfeilen der Kohlenstoff-Ströme sind in Abb. 1 die Ressourcen, mit denen sich der Kohlenstoff-Austausch vollzieht, nur durch unterproportional winzige Kreisflächen dargestellt. In großen Spannweiten werden ganz links die fossilen Reserven abgeschätzt (graue Punkte, beim Gas z.B. zwischen 385 und 1.135 Gt Kohlenstoff). Der mit einem grünen Pfeil dargestellte „Land uptake S_{LAND}“ wird – so lässt die Farbgleichheit vermuten – von Vegetation, Permafrostböden und sonstigen Böden aufgenommen. Ähnliches gilt für den türkisen Pfeil aufs Meer mit dessen Ressourcen an organischem und anorganischem Kohlenstoff sowie den Meeres-Biota.

Der Weltklimarat (IPCC) hat diese Darstellung in eine tatsächlich den *gesamten* Kohlenstoff-Kreislauf abbildende Grafik integriert. Da dies IPCC-Diagramm unter allerlei Aspekten recht unübersichtlich ist, habe ich mit Abb. 2 eine Version konstruiert, die vor allem die Kohlenstoff-Ströme *mengenproportional* darstellt⁵.

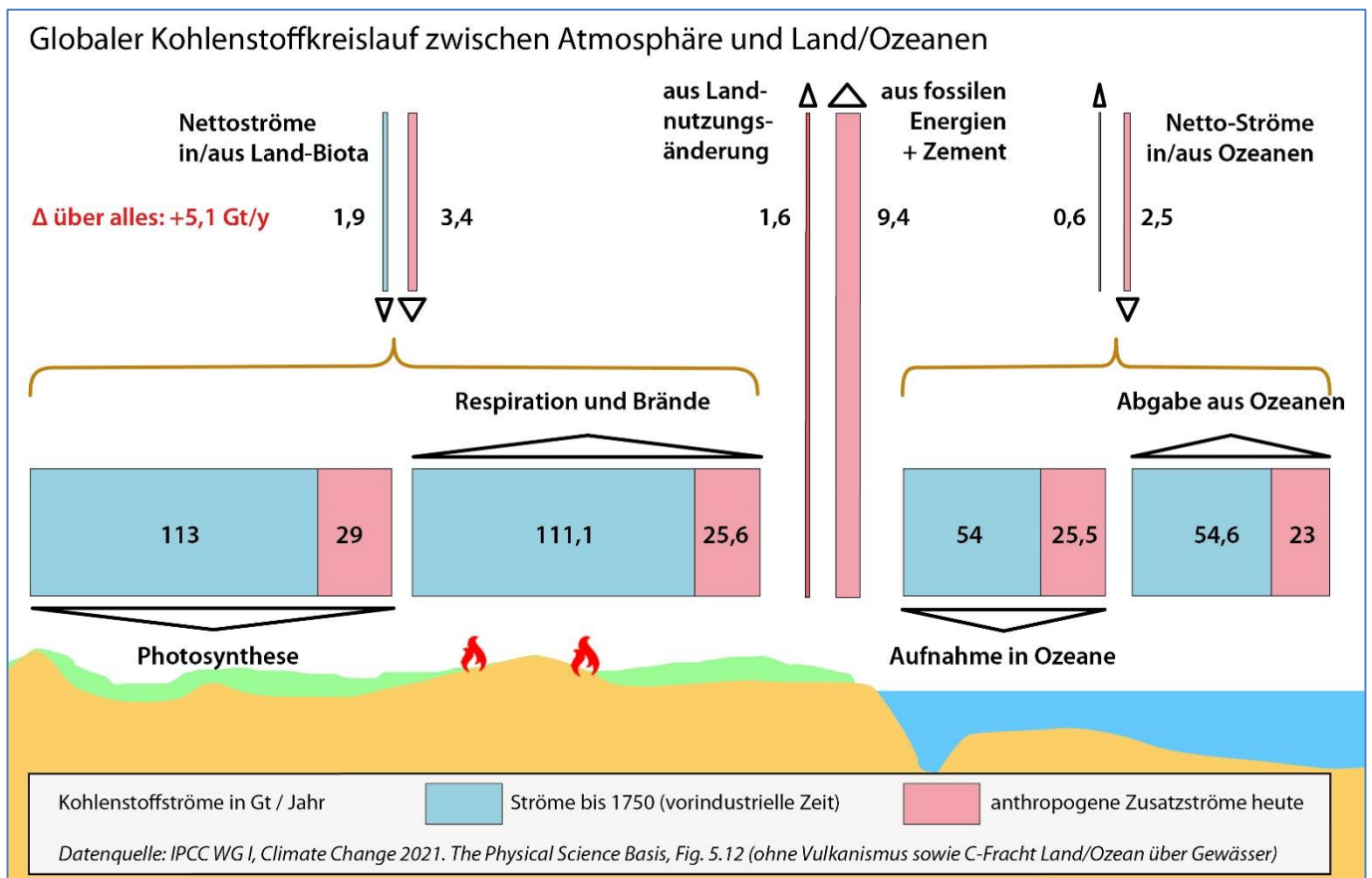


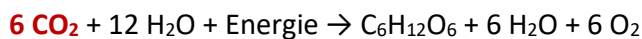
Abb. 2: Die wesentlichen Kohlenstoffströme im Austausch zwischen Land/Ozeanen und Atmosphäre nach Daten des IPCC 2021. Die Pfeilbreiten sind den Kohlenstoff-Strömen proportional. Die im oberen Diagrammteil

⁵ Datenquelle: IPCC WG I, Climate Change 2021. The Physical Science Basis, Fig. 5.12, hier vereinfacht, d.h. ohne Vulkanismus und C-Fracht zwischen Land und Ozeanen über Gewässer sowie ohne Darstellung der Kohlenstoff-Ressourcen auf Land, in den Ozeanen und in der Atmosphäre), <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

dargestellten Nettoströme im Austausch mit den Land-Biota bzw. den Ozeanen ergeben sich aus der jeweiligen Differenz der ein- und ausgehenden Hauptströme, die darunter dargestellt sind.

Es fällt sofort auf, dass die CO₂-Emissionen aus fossilen Energien, Zementproduktion und Landnutzungsänderung nur einen kleinen Teil des realen globalen Kohlenstoff-Kreislaufs ausmachen (im Gegensatz zur Darstellung in Abb. 1). In ganz anderen Größenordnungen stellen sich die Austauschprozesse zwischen Atmosphäre und Land bzw. Atmosphäre und Ozeanen dar. Sie vollziehen sich zu ca. 40 % zwischen Atmosphäre und Ozeanen sowie zu ca. 60 % zwischen Atmosphäre und den Biota auf Land⁶. Obwohl die Ozeane ungefähr die 2,5-fache Fläche der Landmassen einnehmen, ist ihr Anteil am Kohlenstoff-Kreislauf sehr viel geringer als der der Landmassen. Und noch geringer ist der Anteil der ozeanischen Biota (vgl. Abb. 2: „Marine biota“ mit nur 3 Gt C). Die diversen Prozesse des CO₂-Gasaustauschs zwischen Atmosphäre und Ozeanen sollen aber an dieser Stelle nicht weiterverfolgt werden, weil auch dies einer umfänglichen Betrachtung bedürfte.

Während also im Bereich der Ozeane die dortigen Biota nur einen geringen Anteil am Kohlenstoffkreislauf haben, vollzieht sich der bedeutendste CO₂-Austausch mit den Biota auf Land. Das CO₂ in der Atmosphäre wird von Pflanzen durch **Photosynthese** aufgenommen, die mit Wasser aus dem Boden und einstrahlender Sonnenenergie die für den Aufbau der Pflanzen nötigen Kohlehydrate produzieren und dabei Wasserdampf und Sauerstoff emittieren – hier am Beispiel der Glucose:



Im Gegenstrom wird durch **Respiration** (Zellatmung) von Lebewesen bei Freisetzung von CO₂ Energie aus Kohlehydraten (hier wieder das Beispiel Glukose) und Sauerstoff gewonnen:



In diesen Gegenstrom – „Respiration und Brände“ in Abb. 2 – hat das IPCC auch die Freisetzung von CO₂ durch Waldbrände (und wohl auch die CO₂-Emissionen durch die Zersetzung abgestorbener Biomasse) einbezogen.

Diese beiden mächtigen gegenläufigen Ströme im linken Teil von Abb. 2 verdeutlichen, dass funktionierende Land-Biota die wichtigste Rolle im Kohlenstoffkreislauf auf der Erde spielen. Ihre Funktionsfähigkeit ist aber durch menschliche Eingriffe stark eingeschränkt. Gorshkov et al. haben bereits 2000 gezeigt, dass diese Land-Biota schon zum damaligen Zeitpunkt zu 60 % zerstört oder beschädigt waren⁷ (Waldrodungen, Umwandlung von Naturwald in Nutzwald, Ausweitung ökologisch reduzierter industrieller Agrarkulturen, zunehmende Versiegelung von Böden durch Verkehrsanlagen und Bebauung, Ausweitung der Wüstengebiete, durch all dies ein massiver Verlust von Biodiversität, usw.) Dennoch erfüllen sie noch immer ihre Funktion.

In diesem Rahmen ist die Aufteilung der Ströme in *Teilströme* besonders bemerkenswert, die in Abb. 2 **blau** und **rot** unterschieden werden. Diese Aufteilung wird im ICPP-Bericht von 2021 (AR6 = Sixth Assessment Report, aus dem die Daten stammen) *nicht* erläutert, sondern nur grafisch dargestellt. Gewisse Aufklärung schafft erst der vorangegangene fünfte IPCC-Bericht aus 2013⁸. Danach sollen die blauen Ströme einen Zustand *vor* der Industrialisierung spiegeln, den man mit diversen Modellrechnungen (*DGVM = dynamic global vegetation model*) für das Jahr 1750 bestimmt hat. Die roten Teilströme sollen hingegen **anthropogen bestimmte Kohlenstoffströme** separat ausweisen, die seit 1750 hinzugekommen seien.

Die beiden direkt von der Erdoberfläche in die Atmosphäre weisenden schmalen roten Ströme aus Landnutzungsänderung (1,6 Gt C) und Verbrennung fossiler Energien (9,4 Gt) zeigen aktuelle Jahreswerte für diese Emissionsquellen. Die Austauschströme zwischen Atmosphäre und Land bzw. Ozeanen zeigen zwar auch Jahreswerte. Die roten Teilströme bilden jedoch ab, auf welchen aktuellen Wert sich die Kohlenstoffströme seit 1750 *vergrößert* haben, um die direkten anthropogenen Emissionen zu ‚bewältigen‘. Die Natur hat also nach

⁶ Diese 40 : 60-Relation wurde bereits 2000 in der grundlegenden Studie von Gorshkov et al. zugrunde gelegt: *Biotic Regulation of the Environment. Key Issue of Global Change*. Springer, UK; vgl. dort die Modellvarianten in Fig. 6.6; vgl. zu deren Rezeption ferner meinen Text <http://homersheimat.de/res/pdf/Klimaanpassung.pdf>.

⁷ Gorshkov et al. a.a.O., Fig 6.6 und deren Erläuterungen

⁸ <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>, dort die Erläuterungen zu Fig. 6.1

dieser Darstellung im Zuge der Industrialisierung ihr Potential massiv erhöht, um anthropogene Kohlenstoff-Emissionen vor allem durch Photosynthese zu ‚verarbeiten‘.

Für diese – trotz zunehmender Biota-Zerstörung – gewachsenen Fähigkeiten der Natur, anthropogene Emissionen zu kompensieren, gibt es auch Darstellungen auf der Zeitschiene (Abb. 3⁹).

Das Diagramm der Abb. 3 zeigt oberhalb der Nulllinie die seit 1950 besonders stark anwachsenden jährlichen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energien (nebst Zementproduktion), während die Emissionen aus Landnutzungsänderung auf einem eher stabilen Niveau verharren. Man beachte jedoch: Die *Änderung* der Landnutzung wirkt doppelt: zum einen setzt sie CO₂ frei (weil Wald gerodet, bewachsene Flächen in landwirtschaftliche Steppen verwandelt, bebaut oder versiegelt werden, usw.). Zum anderen gehen diese jedes Jahr hinzutretenden degradierten Flächen für die Kohlenstoffabsorption verloren. Die Absorptionskraft der Biota, die unterhalb der Nulllinie dargestellt ist, wird durch Landnutzungsänderung geschwächt.

Auch über die Entwicklung der **Landnutzungsänderung** gibt es Daten, die v.a. im HYDE-Projekt („History database of the Global Environment“) der niederländischen Environmental Assessment Agency zusammengestellt werden¹⁰. Diese Daten lassen sich im Diagramm der Abb. 4 veranschaulichen. Deren Erläuterung lautet:

*Seit 1750 haben anthropogene Landnutzungsänderungen dazu geführt, dass etwa 50 Millionen km² als Ackerland und Weideland genutzt werden, was etwa 38 % der gesamten eisfreien Landfläche entspricht. Um 1750 betrug die geschätzte Acker- und Weidefläche noch 7,5 bis 9 Millionen km². Die **kumulierten netto-CO₂-Emissionen** aus Landnutzungsänderungen zwischen 1750 und 2011 werden auf etwa **180 ± 80 Gt C** geschätzt¹¹.*

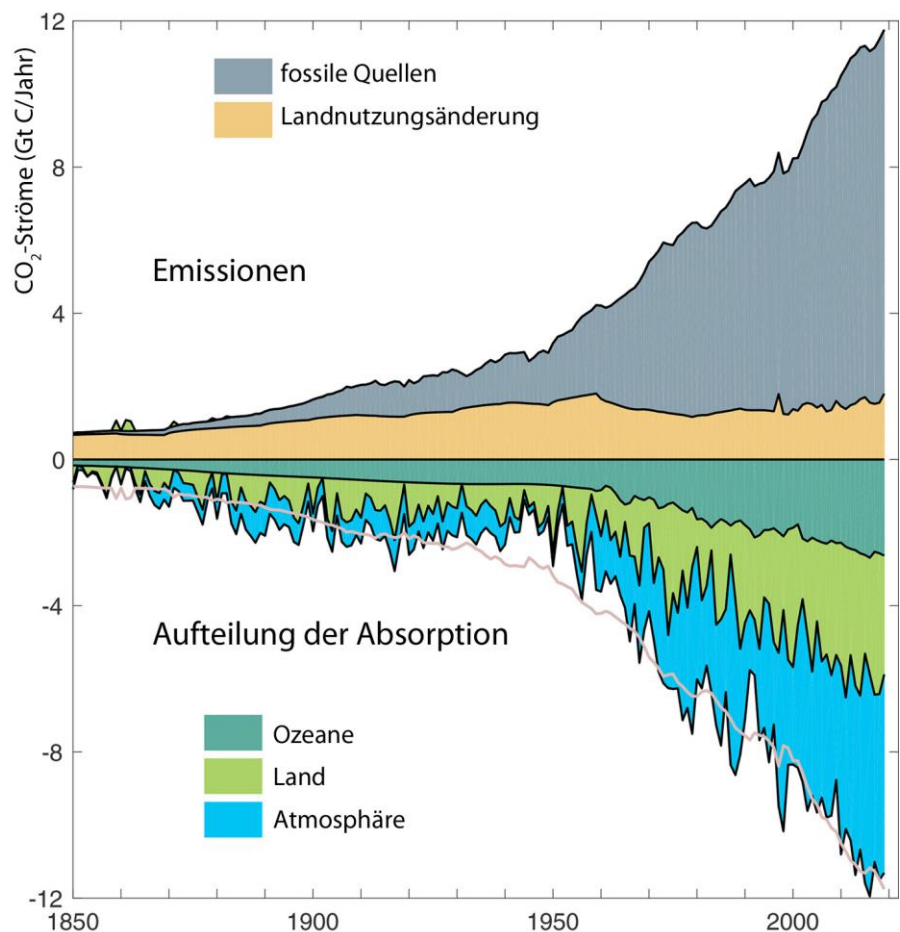


Abb. 3: Die Entwicklung der anthropogenen CO₂-Emissionen im Zuge der Industrialisierung ist oberhalb der Null-Linie und die Verteilung ihrer Absorption auf Ozeane, Land und Atmosphäre unterhalb der Nulllinie dargestellt.

Hinweis: Die Modellrechnungen ergaben Diskrepanzen zwischen Gesamt-Emission und Gesamt-Absorption, die im Vergleich zur zarten rosa Linie der Emissionen, die im unteren Bereich des Diagramms noch einmal (gespiegelt) überlagert ist, abgelesen werden sollen.

⁹ P. Friedlingstein et al., 2020, Global Carbon Budget 2020. Earth System Science Data, 12(4), 3269–3340, online: <https://essd.copernicus.org/articles/12/3269/2020>; Fig 3, diese hier durch deutsche Beschriftung modifiziert.

¹⁰ <https://www.pbl.nl/en/hyde-history-database-of-the-global-environment>

¹¹ Goldewijk, K. K., 2001: Estimating global land use change over the past 300 years: The HYDE Database. Global Biogeochem. Cycles, 15, 417–433, zitiert nach IPCC 2013, WGI-AR5-final, PDF-S. 491.

Der untere Teil von Abb. 3 (Absorption der anthropogenen Emissionen) offenbart (trotz aller Unsicherheiten in den Modellrechnungen) Erstaunliches: Die anthropogenen Emissionen sind nicht einfach in die Atmosphäre entwichen und haben sich dort immer mehr angereichert. Nein: ungefähr die Hälfte dieser zusätzlichen anthropogenen Emissionen konnte die Natur über den gesamten Industrialisierungszyklus hinweg absorbieren, in Biomasse umwandeln bzw. in den Ozeanischen Systemen puffern und damit neutralisieren. Wäre dies nicht passiert, sähe unsere überhitzte Erde heute schon ganz anders aus!

Die politische Fixierung auf technologische Minderung der CO₂-Emissionen im Rahmen einer „green economy“ hat bislang nichts gebracht, weil die Förderung fossiler Energieträger (und damit natürlich auch ihre energetische ‚Verwertung‘) immer noch zunimmt¹².

Deshalb ist der Erhalt noch vorhandener und die Rekonstruktion geschädigter oder zerstörter Biota als ergänzende Strategie so ungemein wichtig, um im Umgang mit der Klimakrise Erfolg zu haben.

2. Wie konnten die Biota die anthropogenen Emissionen ausgleichen?

Die Frage sollte auf der Hand liegen: Wie ist es der Natur gelungen, die anthropogenen Emissionen, die seit Beginn der Industrialisierung produziert worden sind, zumindest zur Hälfte zu kompensieren, obwohl diese Natur unter kapitalistischer Dominanz zum Opfer der Industrialisierung unter einer stark angewachsenen Menschheit geworden ist?

Leider ist die Klimawissenschaft so sehr in ihre Modelle, deren Kalibrierung, Validierung und Abstimmung vertieft, dass sie auf diese fundamentale Frage kaum Antworten gibt, meist diese Frage nicht einmal stellt (von wenigen Ausnahmen abgesehen).

Ein gewisses ‚Echo‘ auf die Rolle der Biota bei der Resorption anthropogener Treibhausgasemissionen findet sich in der berühmten „Keeling-Kurve“, die gerne für den trendförmigen starken Anstieg der CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre herangezogen wird (Abb. 5). James Keeling ging es aber bei seinen 1957 auf dem Mauna Loa auf Hawaii gestarteten Messungen vor allem darum, „die jahreszeitlichen Schwankungen der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre nachzuweisen und damit gewissermaßen das Ein- und Ausatmen der Biosphäre im Jahresrhythmus zu veranschaulichen“¹³. Dass diese Messungen auch den starken Trend zum Vorschein kommen ließen, war eher ein „unerwarteter“ Nebeneffekt.

Der unübersehbare „Sägezahn“-Jahreszyklus in den CO₂-Messergebnissen (Abb. 5)¹⁴ bildet also nicht etwa jahreszeitliche Schwankungen der fossilen Emissionen ab (etwa: viel Heizen im Winter, weniger Energieverbrauch im Sommer). Er spiegelt vielmehr die schwankende CO₂-Konzentration der jährlichen **Vegetationszyklen** in der Nordhemisphäre wider:

In der Vegetationsperiode überwiegt die pflanzliche Aufnahme von CO₂, was sich in einem CO₂-Konzentrationsrückgang niederschlägt. In der Vegetationsruhe (Herbst und Winter) geben die Biota netto CO₂ ab, so dass es zu einem Konzentrationsanstieg kommt. Diese Effekte stellen sich auf dem von allen Landmassen weit entfernten Hawaii-Vulkan mitten im Pazifik zeitverzögert und auf Durchschnittswerte geglättet ein!

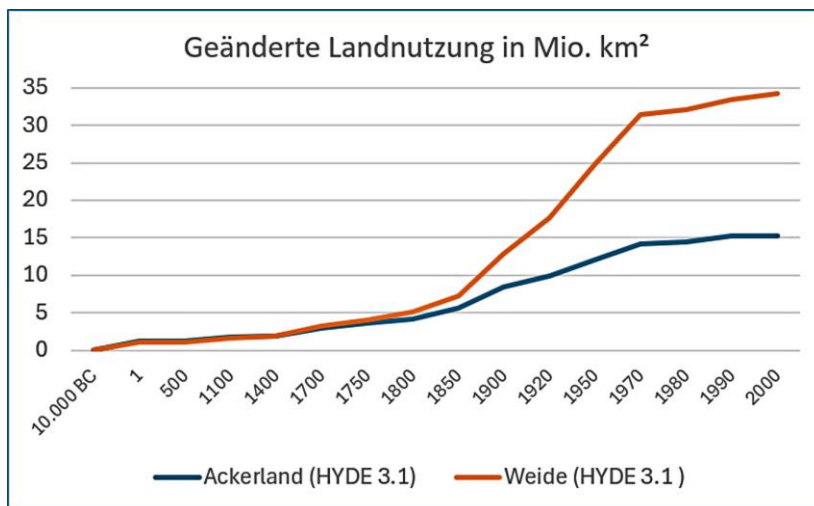


Abb. 4: Landnutzungsänderung nach der niederländischen HYDE-Datenbank mit Nullpunkt zum Beginn der „neolithischen Revolution“ (Beginn sesshafter Landwirtschaft).

¹² vgl. <http://homersheimat.de/res/pdf/Klimaanpassung.pdf>, Abb. 4, nebst deren Erläuterung

¹³ Wolfgang Behringer, Kulturgeschichte des Klimas. Von der Eiszeit bis zur globalen Erwärmung. dtv 2011 ff, S. 245

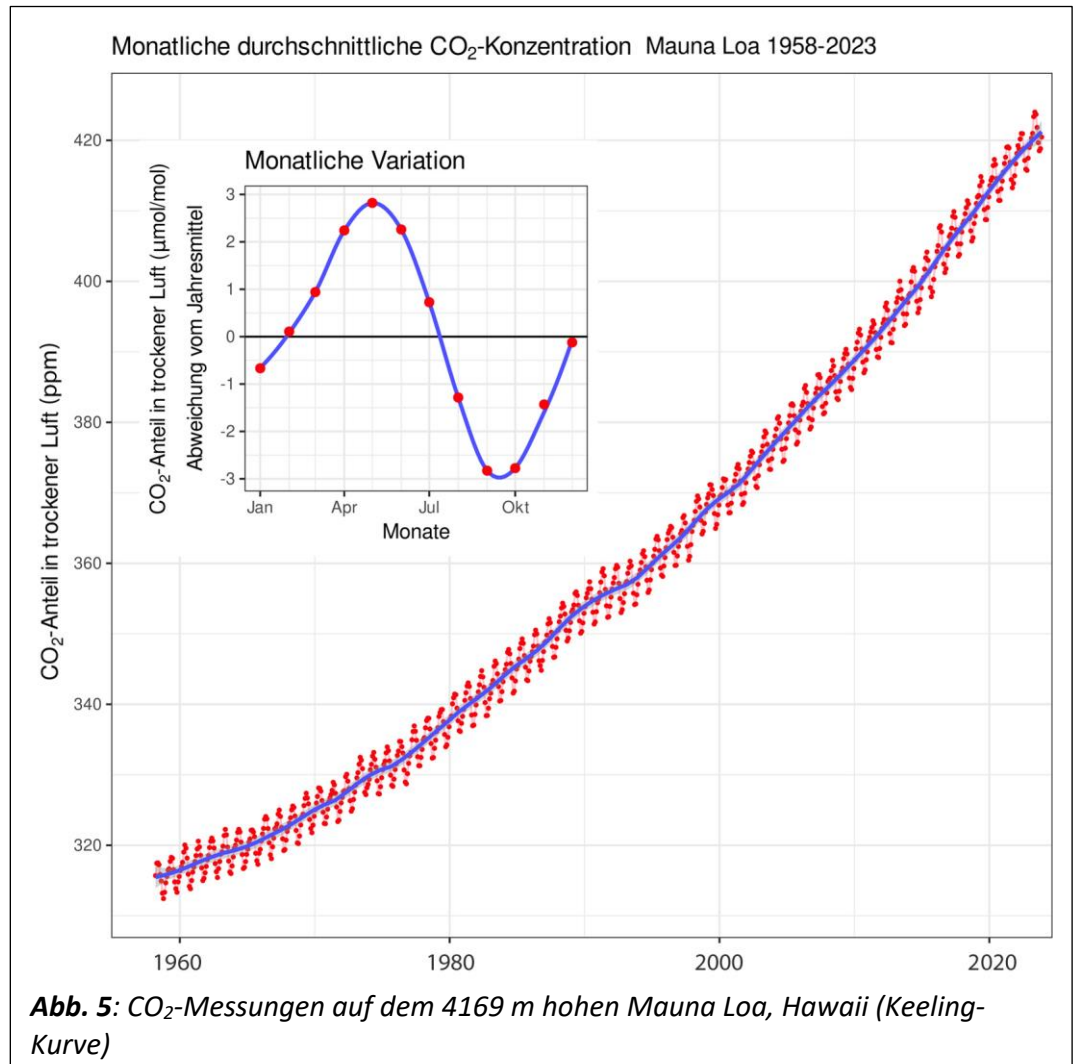
¹⁴ Diagramm aus <https://commons.wikimedia.org/> mit Daten von NOAA/ESRL und Scripps Institution of Oceanography; vgl. auch IPCC 2013 WG I (AR5), Abschnitt 6.1.1.1: „Kohlendioxid und der globale Kohlenstoffkreislauf“.

Die Schwankungen in der CO₂-Konzentrationskurve verweisen also bereits auf die bedeutende Rolle der Biota. Die Kurve würde noch wesentlich steiler ausfallen, wären nicht (wie Abb. 3 zeigte) die anthropogenen Emissionen etwa zur Hälfte von diesen Biota absorbiert worden.

Die Wirkung der Biota zur Reduzierung von CO₂ in der Atmosphäre erschließt sich auch eindrucksvoll aus einer **Computer-Animation der NASA** (Screenshots in Abb. 6 a und b auf der nächsten Seite)¹⁵. Die CO₂-Emissionen entstehen vor allem aus den wesentlichen Emissionsquellen im

industrialisierten Norden – Nordamerika, Europa und Asien. Sie werden von Winden (insbesondere dem Jetstream) verwirbelt und steigern die atmosphärische CO₂-Konzentration während der Vegetationsruhephase bis Anfang Mai. Dann setzt in der nördlichen Hemisphäre die Vegetationsphase ein und der atmosphärische CO₂-Gehalt geht deutlich zurück. Wie die Abbildungen auch zeigen, sind die CO₂-Emissionen überwiegend ein Phänomen der nördlichen – besonders stark industrialisierten – Hemisphäre, während die südliche schwächer beteiligt ist.

Die Kommentierung zu dieser Animation sagt leider nicht, wie sich diese regionalen CO₂-Konzentrationen auf bestimmte Regionen erwärmend auswirken. Die in Europa bereits erreichte und bereits deutlich über dem globalen klimapolitischen Zielwert von +1.5 ° liegende Erhitzung dürfte – so ist zu vermuten – darin eine Erklärung finden.



¹⁵ Englisch kommentierte Animation „NASA | A Year in the Life of Earth’s CO₂“ des Goddard Space Flight Center der NASA, verlinkt auf <https://svs.gsfc.nasa.gov/11719/>

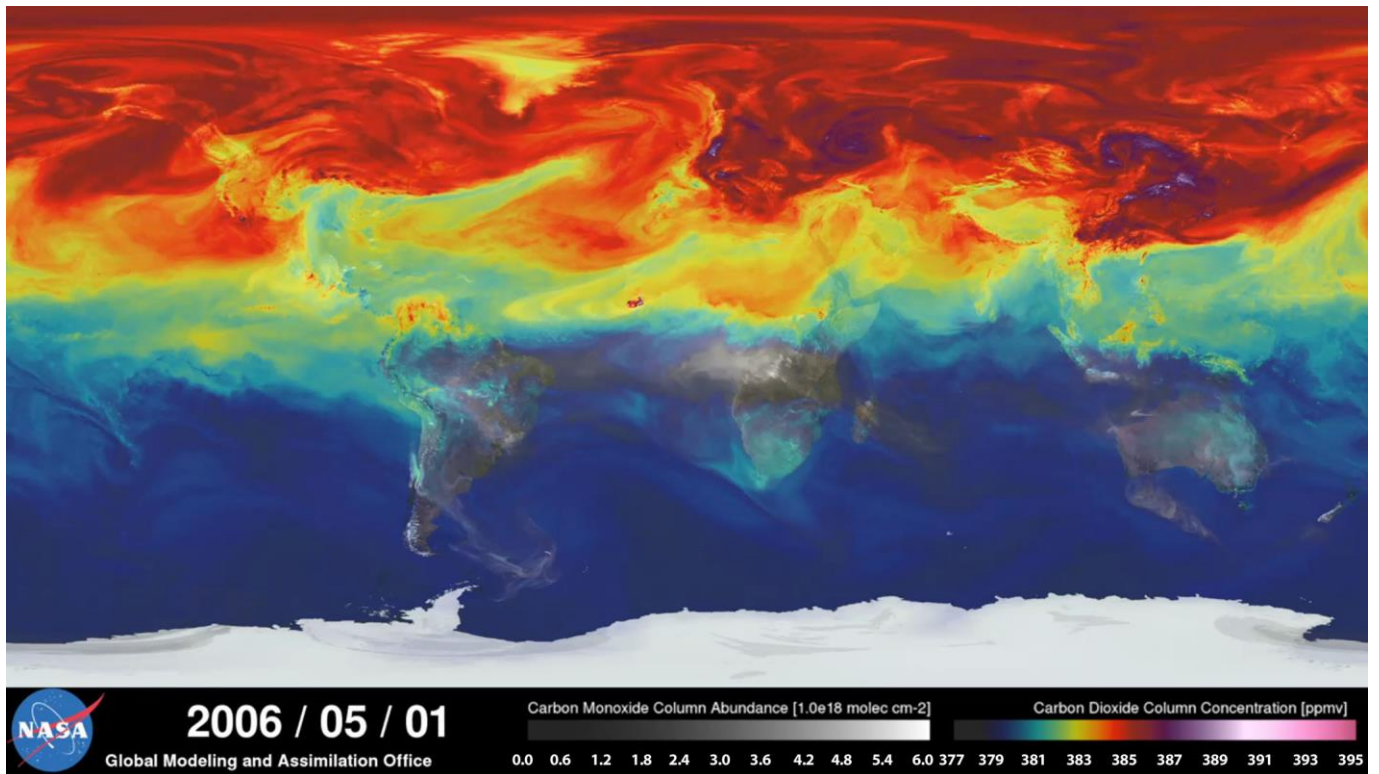


Abb. 6 a: CO₂-Konzentration in der Atmosphäre in der Vegetations-Ruhephase bis ungefähr Anfang Mai mit klarem Schwerpunkt in der nördlichen Hemisphäre bis in die Polarregion, durchwirbelt vom Jetstream (rechte Farbskala). Die südliche Hemisphäre (und Äquatorialregion) ist v.a. durch Kohlenmonoxid aus Waldbränden geprägt (linke graue Skala). Screenshot aus einer Computeranimation der NASA.

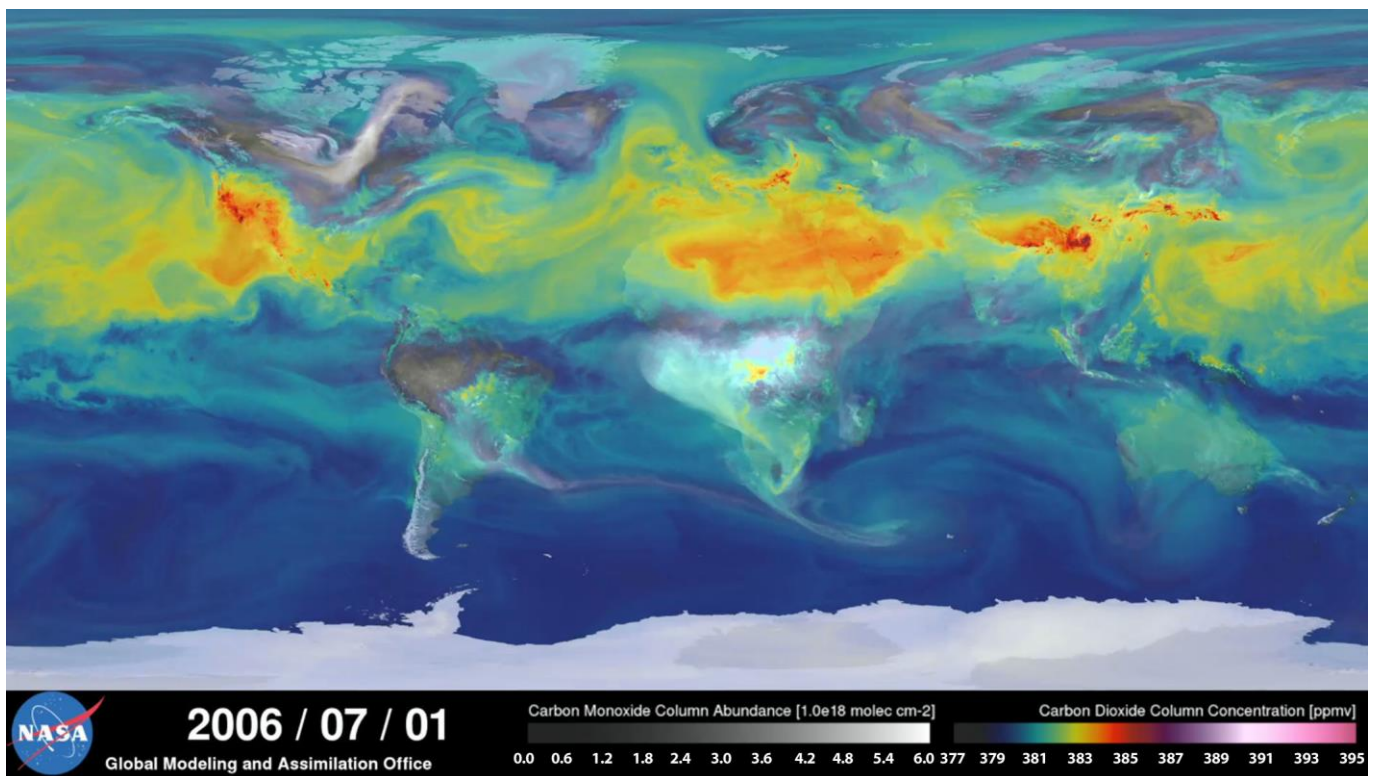


Abb. 6 b: CO₂-Konzentration nach Eintritt der Vegetationsphase in der nördlichen Hemisphäre. Die CO₂-Konzentration lässt deutlich nach, bleibt aber im Savannen- und Wüstengürtel nördlich des Äquators stabil, wo die Biota mit regulatorischer Kraft weitgehend degradiert oder verschwunden sind. Nun verstärken sich die in Grautönen dargestellten Kohlenmonoxid-Emissionen aus Waldbränden (v.a. links oben Kanada, rechts oben Sibirien, in der Bildmitte die Regenwälder im Äquatorialbereich).

Wie also schaffen es die Ökosysteme (Biota) trotz massiver Schädigung, immer noch die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre zu regulieren?

CO₂-Düngung / CO₂ Fertilization Effect (CFE)

Die biotisch wirksamen Flächen haben im Zuge der Industrialisierung stark abgenommen (vgl. u.a. die Gorshkov-Studie sowie Abb. 4 zur Landnutzungsänderung). Auf einen Zuwachs biotisch wirksamer Flächen kann die angewachsene CO₂-Absorptionsrate also schwerlich zurückgeführt werden.

Als einzige Erklärung bietet sich bislang die Fähigkeit vieler Pflanzen an, bei Steigerung des CO₂ in der Pflanzenatmosphäre mehr CO₂ aufnehmen zu können. Dieser Effekt wird auch gezielt als Pflanzenwachstums-Stimulans eingesetzt – daher der Begriff „CO₂-Düngung“. Allerdings ist es in der landwirtschaftlichen Forschung noch eine offene Frage, ob diese „Düngung“ auch zu höheren Erträgen oder nur zu mehr Bio-/Blattmasse führt.

Der ‚Düngeeffekt‘ gilt nicht für alle, aber für die meisten Pflanzen, darunter auch alle Baumarten. Auf Grund eines spezifischen chemischen CO₂-Bindungsmechanismus‘ bei der Photosynthese werden diese Pflanzen C₃-Pflanzen genannt¹⁶.

Dieser Mechanismus und sein Schlüsselenzym haben sich erdgeschichtlich schon sehr früh herausgebildet, als die Atmosphäre noch reich an CO₂ und arm an Sauerstoff war¹⁷. Daher rührt, dass das CO₂-Optimum von C₃-Pflanzen bei einem CO₂-Atmosphärenanteil von 800 bis 1000 ppm liegt. Bis zum Beginn der Industrialisierung schwankte die CO₂-Konzentration um 280 ppm, inzwischen hat sie 400 ppm klar überschritten. Insofern bestünde also theoretisch noch erheblicher ‚Spielraum‘ für die CO₂-Aufnahmefähigkeit von C₃-Pflanzen. Der lässt sich allerdings empirisch nicht nachweisen – im Gegenteil:

Die Universität Augsburg, deren Geographen an einer internationalen Studie zur ‚CO₂-Düngung‘ beteiligt waren, wies 2021 darauf hin, „**dass dieser Effekt weltweit in den letzten vier Jahrzehnten um etwa 30 Prozent abgenommen hat**“¹⁸. Ursachen werden vornehmlich darin gesehen, dass Pflanzen neben CO₂ auch Nährstoffe und Wasser benötigen, die zu limitierenden Faktoren werden, selbst wenn hinreichend CO₂ zur Verfügung steht. Hier wenige (kommentierte) Auszüge aus dem Forschungsbericht:

Die gesteigerte Vegetationsproduktivität aufgrund erhöhter Kohlendioxidkonzentrationen ... hat eine wichtige negative Rückkopplung auf die Klimaerwärmung.... Terrestrische Ökosysteme haben in den letzten sechzig Jahren mehr als die Hälfte der globalen Kohlenstoffsенke ausgemacht und so die Klimaerwärmung deutlich gemildert. Globale prozessbasierte Modelle führen einen Teil der zunehmenden Kohlenstoffsенke an Land auf die Zunahme der Vegetationsproduktivität zurück, die durch den Düngeeffekt einer steigenden atmosphärischen CO₂-Konzentration bedingt ist, d. h. den CO₂-Düngeeffekt (CFE [CO₂ Fertilization Effect]).

Weitere Erklärungen, wie der *andere* „Teil der zunehmenden Kohlenstoffsенke“ zu erklären sei, waren kein Thema dieser Studie und drängen sich auch aus anderen Quellen nicht auf, bleiben also offen. Aber selbst der hier untersuchte Erklärungsteil stellt sich nun als fragwürdig dar:

Anhand mehrerer langfristiger satelliten- und bodengestützter Datensätze haben wir gezeigt, dass der globale CFE in den meisten terrestrischen Regionen der Erde zwischen 1982 und 2015 zurückgegangen ist, was gut mit sich ändernden Nährstoffkonzentrationen und der Verfügbarkeit von Bodenwasser korreliert.

¹⁶ vgl. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/c3-pflanzen/15607>

¹⁷ <https://de.wikipedia.org/wiki/C3-Pflanze>

¹⁸ „Warum Pflanzen nicht mehr so viel Kohlenstoffdioxid aufnehmen“ – Pressemeldung der Universität Augsburg vom 09.04.2021, <https://www.uni-augsburg.de/de/campusleben/neuigkeiten/2021/04/09/4117/>. Die zugehörige Studie: Songhan Wang et al.: Recent global decline of CO₂ fertilization effects on vegetation photosynthesis. Science Vol. 370, Issue 6522; online: <https://science.sciencemag.org/content/370/6522/1295>.

Industrialisierte Landwirtschaft mit chemisch gedüngten aber biologisch ausgelaugten Böden sowie die kanalisierte Ableitung von Niederschlagswasser (statt dessen Rückhaltung in der Landschaft)¹⁹, sowie wasserintensive Intensivanbaukulturen (Horrorbeispiel Spanien!) produzieren da ihre fatale Wirkung!

Unsere Analysen zeigten einen signifikanten und räumlich ausgedehnten Rückgang von β ...

[der sog. β -Faktor charakterisiert die Reaktion von Pflanzen auf eine steigende CO₂-Konzentration]

... was eine erhebliche Verringerung der positiven Auswirkungen des Anstiegs des atmosphärischen CO₂ auf die terrestrische Kohlenstoffaufnahme bedeutet ...

Obwohl noch immer diskutiert, könnte der mögliche Anstieg des luftgetragenen Anteils des anthropogenen CO₂ eine Sättigung der CO₂-Senken von Land und Ozeanen bedeuten, was teilweise durch den globalen Rückgang des CFE verursacht werden könnte.

Dann steigen auch diese Wissenschaftler in die Kritik an den so beliebten Modellkonstruktionen ein:

Aktuelle Kohlenstoffkreislaufmodelle weisen ebenfalls solche globalen Rückgänge von β auf, können den starken Rückgangstrend, den wir anhand von Satellitendaten identifiziert haben, jedoch nicht angemessen erkennen. Diese Divergenz zwischen Beobachtungen und prozessbasierten Modellen rührt möglicherweise von den Einschränkungen der Modelle her, den sich abzeichnenden Rückgang der Konzentrationen wichtiger Blatt Nährstoffe und die zunehmenden Einschränkungen der Vegetationsproduktivität durch Wasserbeschränkungen angemessen darzustellen.

Und nun das Resümee:

Letztlich deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass die terrestrische Photosynthese möglicherweise nicht so stark zunimmt wie von Modellen prognostiziert. Dies könnte das Potenzial landgestützter Klimaschutzmaßnahmen verringern, die globale Erwärmung weiter beschleunigen und die Anstrengungen zur Erreichung der Klimaziele verschärfen. Unsere Erkenntnisse unterstreichen auch die Notwendigkeit einer besseren Charakterisierung der biogeochemischen und hydrologischen Auswirkungen auf die Vegetation in aktuellen Kohlenstoffkreislaufmodellen, um robustere Prognosen des terrestrischen Kohlenstoffhaushalts für die nächsten Jahrzehnte zu erstellen.

Das ist – mit diskretem Charme der Wissenschaft formuliert – die beim IPCC nach wie vor nicht fruchtende Kritik, die puristische Verengung auf CO₂-Emissionsminderung dahingehend zu erweitern, dass die menschlichen (Zer-)Störungen der Biota sowie der Wasserkreisläufe zu wesentlichen Forschungs- und Handlungsfeldern im Klimawandel werden.

Letztlich werfen diese Befunde aber die grundsätzliche Frage auf, ob das Kohlenstoff-Kreislaufmodell des IPCC überhaupt stimmt. Hat sich seit 1750 die Leistung der Natur zur CO₂-Aufnahme, ihre Bedeutung als Kohlenstoffsene, tatsächlich in dem Maße erhöht, wie es Abb. 4 darstellt? Oder sehen wir Modellannahmen, die mit der Wirklichkeit nicht in Einklang stehen?

3. Alles gut im deutschen Wald?

Die IPCC-Analysen zum Kohlenstoffkreislauf (Abschnitt 2) behaupten eine beeindruckende Leistung der Land-Biota zum Ausgleich der anthropogenen CO₂-Emissionen– auch wenn dies im Zuge der Industrialisierung nur eine Kompensation von ca. der Hälfte dieser Emissionen bewirkt hat. Die in Abschnitt 2 zitierte Studie hat dem allerdings einen kräftigen Dämpfer aufgesetzt, weil empirische Daten ein ungünstigeres Bild zeichnen als die Modellrechnungen der Klimaforscher. Die Lage ist schwer zu beurteilen, solange sich die Forschung unzureichend mit den Biota, ihrer Schädigung und ihren Potentialen zur Absorption von CO₂-Emissionen befasst und die Politik – beraten vom IPCC – diesen wichtigen Aspekt nur unzureichend aufgreift. Außerdem stehen die Wasserkreisläufe, deren Störung durch Ableitung des Niederschlagswassers statt Rückhaltung in der Landschaft („Slow Water“) die Potentiale der CO₂-Bindung limitieren, nicht hinreichend im Focus forschenden u.v.a. politischen Handelns.

Deshalb wäre es interessant zu sehen, welche Erkenntnisse im kleinräumigeren Maßstab (Zentraleuropa / Deutschland) vorliegen, um bei uns den Sachstand sowie Handlungsdefizite bzw. Handlungsoptionen

¹⁹ Hier ist neben einer Ausweitung und Rekonstruktion von Land-Biota die Lösungsstrategie „Slow water“ gefragt, dazu <http://homersheimat.de/res/pdf/Klimaanpassung.pdf>, Abschnitt 7.

abzuschätzen. Da aber wird vornehmlich ein Bild gezeichnet, in dem sich die globalen Probleme nicht widerspiegeln, in dem die Welt noch ‚in Ordnung‘ zu sein scheint:

Die Vertragsstaaten zum „Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen“ von 1997 („Kyoto-Protokoll“²⁰) haben sich in Artikel 3 Abs. 3 u.a. verpflichtet:

Die Emissionen von Treibhausgasen aus Quellen und der Abbau solcher Gase durch Senken, die mit diesen Maßnahmen verbunden sind, werden nach Maßgabe der Artikel 7 und 8 in transparenter und nachprüfbarer Weise gemeldet und überprüft.

Zur Erfüllung dieser Berichtspflicht über Kohlenstoffsinken (insbesondere Wälder, Moore, Böden) erhebt das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft mit Hilfe des Thünen-Instituts Daten zum Kohlenstoffvorrat im Wald. Die letzte verfügbare Inventarisierung stammt aus 2017 und nimmt Vergleiche mit früheren Inventarisierungen aus den Jahren 1990, 2002,

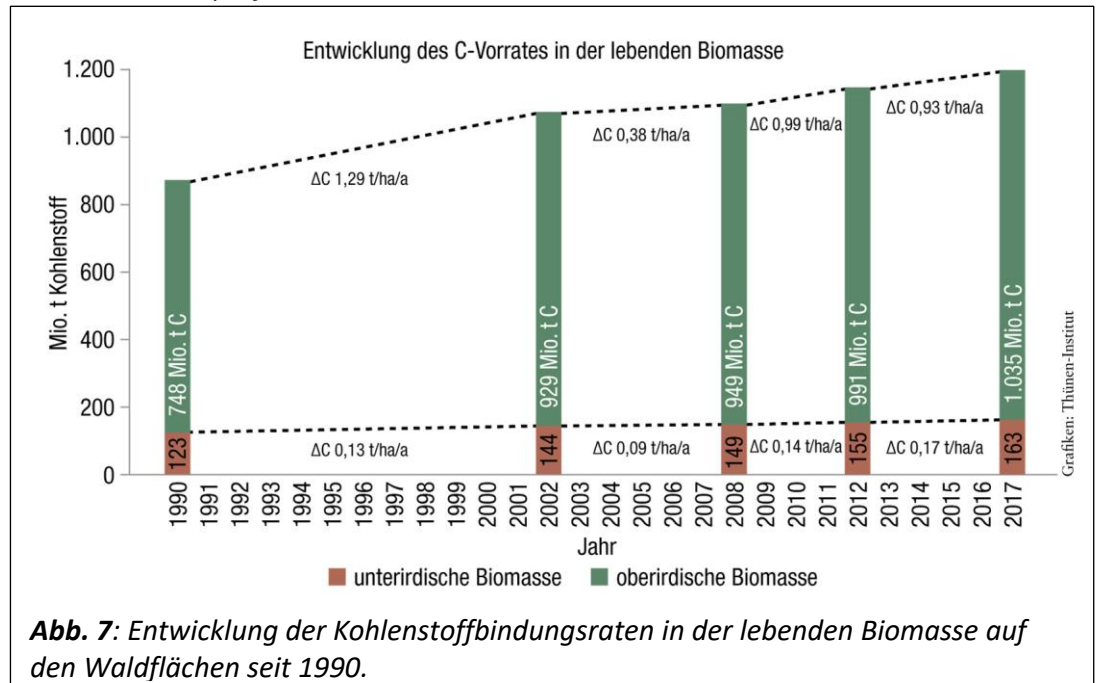


Abb. 7: Entwicklung der Kohlenstoffbindungsraten in der lebenden Biomasse auf den Waldflächen seit 1990.

2008 und 2012 vor. Die insgesamt deutliche Steigerung der CO₂-Bindung in den Wäldern wird nach dieser Darstellung nur für die Zeitspanne 2002/2008 gedämpft, was man „durch den Sturm ‚Kyrill‘ und der damit deutlichen Steigerung des Holzaufkommens innerhalb des Jahres 2007“ erklärt (Abb. 7²¹).

Im Betrachtungszeitraum zwischen 1990 und 2017 habe sich nach Abb. 7 der Kohlenstoffvorrat in den deutschen Wäldern von 871 Mio. t C (123 Mio. t im Boden und 748 Mio. t in oberirdischer Biomasse) auf 1.198 Mio. t (163 Boden + 1.035 oberirdisch) erhöht. Das entspräche einer gewaltigen **Steigerung um 37,5 %!**

Auch hier sollte sich die **Frage nach den Ursachen** einer solchen Entwicklung stellen: Geht die Zunahme der Kohlenstoffbindung auf Waldflächenzuwachs zurück oder fand in den vorhandenen Wäldern eine kräftige Intensivierung der CO₂-Bindung statt? (also ein Effekt der „CO₂-Düngung“). Andere Gründe konnten bislang nicht aufgefunden werden.

Leider ergänzt der Thünen-Bericht keine Daten für die zugehörigen Waldflächen in den Erfassungsjahren der Abb. 8 (die sich aus dem Saldo von Bestandswald, Aufforstung und Entwaldung sowie Holzernte ergeben müssten). Das Statistische Bundesamt liefert Daten zur Flächennutzung in Deutschland nur für den Zeitraum 1992 bis 2015²², was aber lediglich den Betrachtungszeitraum von Abb. 8 abdeckt. Danach nahmen die Waldflächen in diesem Zeitraum von 104.536 auf 109.515 km² zu, was einem Flächenzuwachs um weniger als 5 % entspräche²³. Diese geringe Flächenzunahme kann also bei weitem nicht die vom Thünen-Institut behauptete Zunahme der Kohlenstoffvorräte in den Wäldern erklären.

²⁰ Deutsche Version des „Kyoto-Protokolls“: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpger.pdf>

²¹ „Wälder in Deutschland sind eine wichtige Kohlenstoffsink“, in: AFZ-Der Wald 14/2019, online: https://www.thuenen.de/media/institute/wo/Waldmonitoring/THG/Projekt/CI2017/AFZ_14_19_Kohlenstoff_Artikel_2_Riedel.pdf

²² <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=33111-0003&bypass=true&levelindex=0&levelid=1721279111679#abreadcrumb>

²³ Dieser Zuwachs ist aus den Tabellendaten des Statistischen Bundesamtes errechnet. Im Text der Pressemeldung 40/2021 nennt das Statistische Bundesamt allerdings deutlich niedrigere Werte: „In den vergangenen Jahrzehnten ist

Nun sind Jedermann unzählige Medienberichte in Erinnerung, wie sehr der deutsche Wald unter dem Klimawandel leidet: Sturmschäden, großflächiger Borkenkäferbefall, Dürre usw. lauten die Stichworte. Aber auch Rodungen werden immer wieder vollzogen, deren Ausgleich durch Neuaufforstungsflächen zwar formal die Flächenbilanz ausgleichen mag, die faktische Bilanz aber kräftig dezimiert, weil die kleinen neuen Pflänzchen auf einer Aufforstungsfläche erst einmal Jahrzehnte benötigen, ehe sie die im gerodeten alten Wald gebundene Kohlenstoffmasse tatsächlich wieder ausgeglichen haben.

In Darmstadt liefert das Ludwigshöhviertel am Bessunger Waldrand ein drastisches Beispiel, wo die Flächenbilanz innerhalb des Bebauungsplans einen Verlust von 0,8 ha Waldflächen bescheinigt, zu denen ein weiterer Hektar Hochwald für eine neue (verschobene) Cooperstraßen-Anbindung hinzukommen soll.

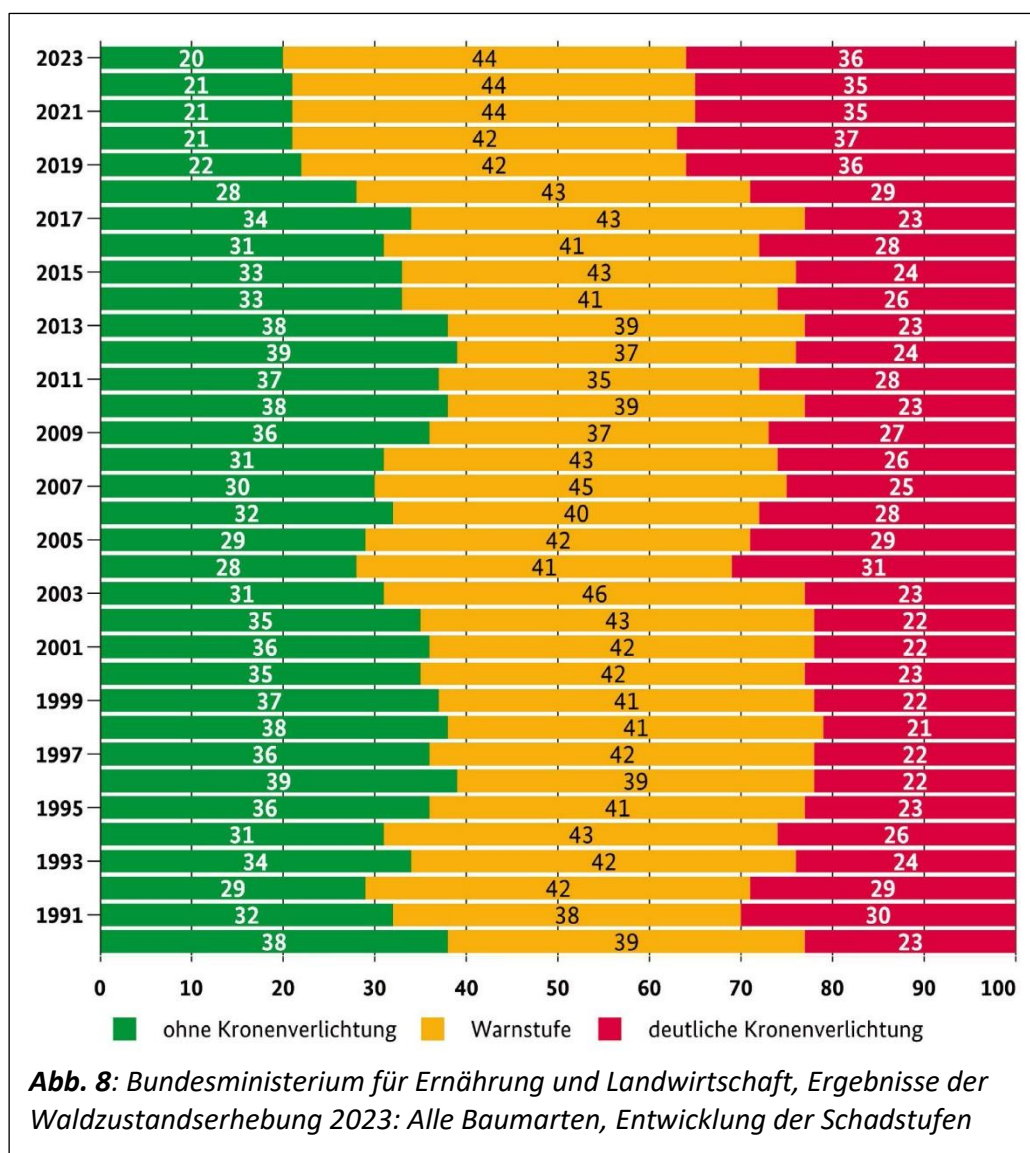
All das sind deutliche, aber dennoch nur singuläre Informationen, die noch kein statistisches Gesamtbild abgeben. Das könnten die Waldzustandserhebungen liefern, die alljährlich für das gesamte Bundesgebiet erfolgen²⁴:

Abb. 8 illustriert den Zustand der Waldbäume in Deutschland nach der Waldzustandserhebung 2023 anhand des Schadensbildes „Kronenverlichtung“ im Zeitraum ab 1990 (d.h. vergleichbar zu Abb. 7). Ergänzend zur nicht sehr aktuellen Abb. 7 sind hier auch die Jahre 2018 bis 2023 mit erfasst, in denen sich das Schadensbild stark verschlechtert hat.

Für diese späten Jahre hält der Thünen-Bericht zur Kohlenstoffbindung vorsichtshalber fest, „dass die verstärkten Kalamitätseignisse Sturm, Dürre und Insekten erst nach der Kohlenstoffinventur ab dem Herbst 2017 auftraten und somit in die Ergebnisse der Kohlenstoffinventur nicht einfließen konnten“.

Das Waldschadensbild hat sich zwar in diesem letzten Abschnitt nach dem besonders heftigen Dürrejahr 2018 verschärft, war jedoch auch in der Zeit davor gegeben:

Im gesamten Zeitraum der Abb. 8 hat sich der Anteil gesunder Bäume ohne Kronenverlichtung von 38 % auf 20 % fast halbiert, der Anteil der Bäume mit



die Waldfläche leicht gewachsen – um 1,3 % gegenüber dem Jahr 2000 und um 2,0 % gegenüber 1992“ (https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2021/PD21_40_p002.html).

²⁴ Download aller Waldzustandserhebungen zwischen 2007 und 2023: <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/waldzustandserhebung.html>; Waldzustandserhebung 2023: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/waldzustandserhebung-2023.pdf?blob=publicationFile&v=8>

„deutlicher Kronenverlichtung“ hingegen von ungefähr einem Viertel auf ein gutes Drittel erhöht.

Kronenverlichtung ist ein wesentlicher Parameter für die CO₂-Bindungsfähigkeit von Bäumen:

Eine verlichtete Krone hat weniger Blätter, mit denen der Baum via Photosynthese Kohlendioxid aus der Luft in Kohlenhydrate umwandeln kann. Daher ist bei einer starken Kronenverlichtung auch das Wachstum reduziert²⁵.

Wenn also die Kronenverlichtung *zunimmt*, *sinkt* die CO₂-Bindungsfähigkeit. Eine Steigerung der Kohlenstoffbindung, zumal in dem enormen Umfang, den das Thünen-Institut festgestellt haben will, kann also angesichts des Schadensbildes der Abb. 8 nicht stattgefunden haben. Ursache für diese krasse Diskrepanz in den Daten könnte sein, dass bei den Waldinventuren, auf denen die Kohlenstoffinventuren aufsetzen, die Vitalität der Bäume in der Stichprobe – soweit zu erkennen – nicht mit einbezogen wird. Die wird nur in den getrennt bearbeiteten Waldzustandsberichten erhoben.

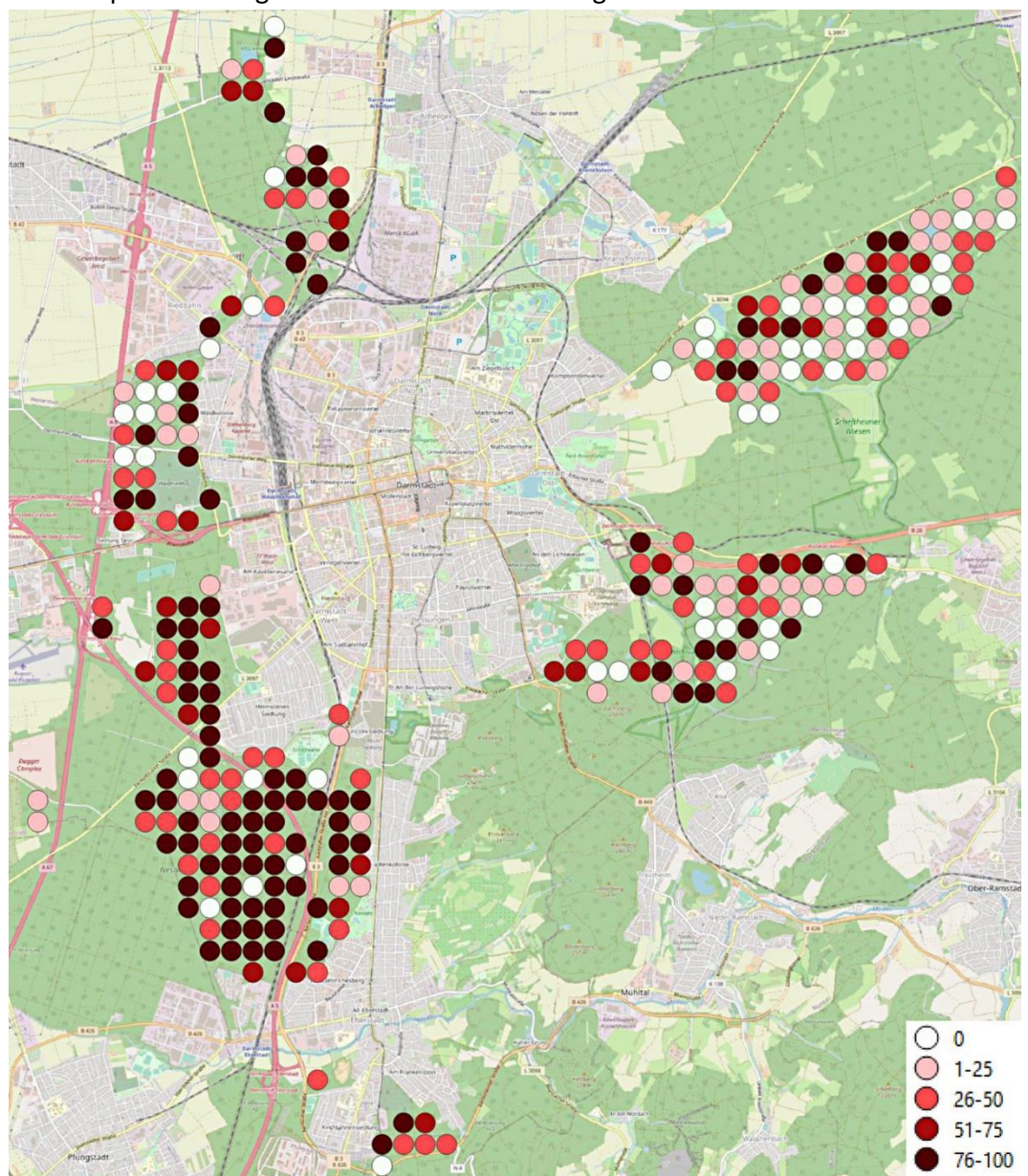
Schaut man sich gar noch die Situation in Darmstadt an, so entschwindet jede Phantasie, wie dieser Wald noch als prosperierende Kohlenstoffsенке funktionieren soll. Abb. 9 zeigt aus dem Waldschadensbericht 2020²⁶ den prozentualen Anteil „deutlich geschädigter Bäume“ auf den Stichprobepunkten, die als Kreisflächen über den Aufnahme-Rasterpunkten dargestellt sind. Eine Darstellung wie im bundesweiten Waldzustandsbericht (Abb. 8) enthält der Darmstädter Bericht leider nicht.

Abb. 9: Waldzustandsbericht Darmstadt 2020, dortige Abb. 13, prozentualer Anteil an deutlich geschädigten Bäumen (Schadstufe 2 bis 4) je Stichprobepunkt.

Insgesamt wurden an 298 Stichprobepunkten 2.384 Bäume bewertet, die für Wiederholungsprüfungen dauerhaft markiert sind.

Ergebnis:

Lediglich 15 % aller Bäume im Stadtwald gelten als ungeschädigt und 27 % als schwach geschädigt. Den größten Anteil nehmen mit 38 % die mittelstark geschädigten Bäume



²⁵ Institut für angewandter Pflanzenbiologie, https://www.iap.ch/wald_krone.html

²⁶ https://www.darmstadtnews.de/wp-content/uploads/2021/01/Waldzustandsbericht_Darmstadt_2020.pdf

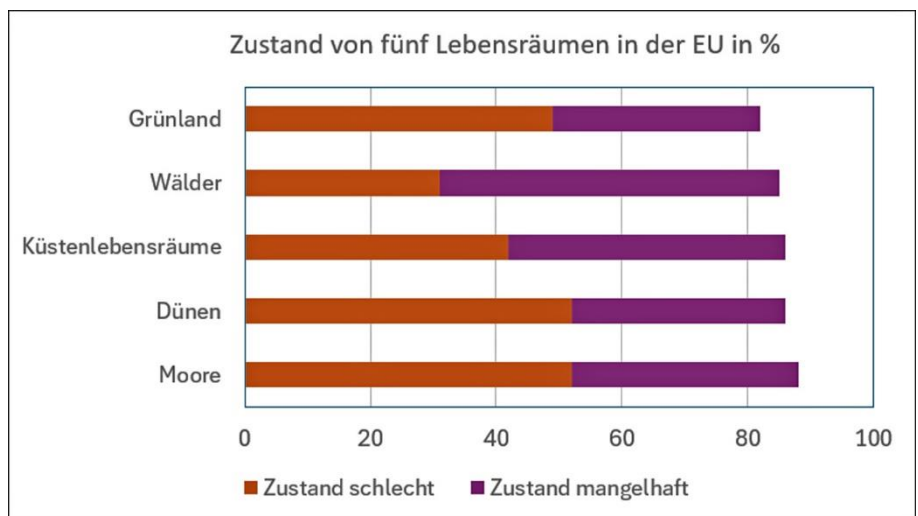
ein. 13 % aller Bäume sind stark geschädigt und 7 % abgestorben. Im Vergleich zur landesweiten Waldzustandserhebung in Hessen ist vor allem der merklich erhöhte Anteil der stärkeren Schäden im Stadtwald Darmstadt auffallend. Im Landesdurchschnitt galten für das Jahr 2020 insgesamt 8,8 % aller Bäume als stärker geschädigt (starke Schäden + abgestorbene Bäume). Im Stadtwald Darmstadt beläuft sich der Anteil auf insgesamt 20 %

Nach solch konkreten Schadensbildern erscheinen die Behauptungen des Thünen-Instituts zur massiven Steigerung der Kohlenstoffbindung in den deutschen Wäldern bizarr und bedürfen der Überprüfung. Das ist höchst relevant, weil die Daten zur Kohlenstoffbindung in deutschen Wäldern als Senke in die Gesamt-CO₂-Bilanz der Bundesrepublik Deutschland eingehen ... und diese ggf. ‚schönen‘.

4. Dürfen wir auf die EU hoffen?

Ebenso düster wie die deutschen Waldzustandserhebungen diagnostiziert die EU den Zustand der Wälder in Europa (neben weiteren wichtigen Ökosystemen)²⁷:

Abb. 10: „Ein horizontal gestapeltes Balkendiagramm, das den Prozentsatz von fünf verschiedenen Lebensräumen zeigt, die sich in den Jahren 2013 bis 2018 in einem schlechten oder mangelhaften Zustand befanden: Feuchtgebiete (Sümpfe, Moore und Niedermoore), Dünen, Küstenlebensräume, Wälder und Grasland. Diese Lebensräume werden im Rahmen der Habitatrichtlinie der EU überwacht. Bei allen fünf Lebensräumen befinden sich mehr als 80 % ihrer Fläche in einem schlechten oder mangelhaften Zustand“.



Die Wälder schneiden unter den fünf Lebensraumtypen mit „54 % mangelhaft“ am schlechtesten ab. Schlimmer ergeht es den Wäldern nur noch, wenn sie gänzlich verschwinden (Entwaldung/Deforestation). Dazu meldet ein Memo der EU allerdings nur Beunruhigendes für die globale Welt, scheinbar Beruhigendes hingegen für Europa²⁸:

Wälder bedecken etwa 30 % der Landfläche der Welt. Nach Angaben der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) beträgt die jährliche Entwaldungsrate etwa 13 Millionen Hektar pro Jahr (etwa die Größe Griechenlands). Zwischen 1990 und 2005 gingen drei Prozent der weltweiten Waldbedeckung verloren, und in den letzten 20 Jahren hat die Entwaldungsrate nicht signifikant abgenommen. Etwa 96 % der Abholzung findet in tropischen Regionen statt.

In großen Teilen Europas kam es in verschiedenen Epochen der Geschichte zu intensiver Abholzung. Heute ist das Phänomen marginal und auf wenige Regionen beschränkt.

„Marginal“? Nur ein Beispiel dafür, dass es ganz so friedlich auch hierzulande nicht läuft, liefert eine Arte-Dokumentation über den Waldraubbau von IKEA. „Wie Ikea den Planeten plündert“ verschont auch Europa nicht²⁹:

²⁷ <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/state-of-eu-nature/#0>; Abbildung mit deutscher Beschriftung neu konstruiert.

²⁸ „Fragen und Antworten zu Entwaldung und Waldschädigung“: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_08_632

²⁹ <https://www.arte.tv/de/videos/112297-000-A/wie-ikea-den-planeten-pluendert/>

Das Filmteam verfolgte mehr als ein Jahr lang die Produktionskette von IKEA – von den Wäldern im hohen Norden Schwedens über die Küsten Neuseelands bis hin zu Plantagen in Brasilien und den Waldgebieten von Polen und Rumänien.

In drei europäischen Randländern fern von Brüssel lässt sich im Film der Kahlschlag besichtigen, gegen den die EU bislang nicht wirksam vorgegangen ist.

Zweifellos ist deren Aktivität eher Papier-lastig: Nach einer „EU-Biodiversitätsstrategie 2030“ erschien eine „EU-Waldstrategie 2030“ und schließlich wurde im Frühsommer 2024 eine Verordnung beschlossen, die sich wegen ihrer unmittelbaren Rechtswirkung in allen EU-Mitgliedsstaaten „Nature Restoration Law“ nennt – „Gesetz zur Wiederherstellung der Natur“. Das ist im Sinne der Wiederherstellung unserer stark gestörten Biota zweifellos ein wichtiger Ansatz auch im Sinne der in diesem Papier postulierten strategischen Ergänzungen zur puristischen CO₂-Emissionsminderungsstrategie³⁰.

Doch auch dieser EU-Vorstoß ist nicht frei von **Symbolpolitik**. Durch die genannten Strategien und Rechtsnormen zieht sich ein zentraler Vorschlag, auf den hin sich die EU-Interventionsabsichten immer mehr konzentriert haben:

Drei Milliarden neue Bäume sollen in der EU unter uneingeschränkter Beachtung der ökologischen Grundsätze angepflanzt werden.

So hieß es zunächst in der **Biodiversitätsstrategie 2030**³¹. Die **EU-Waldstrategie 2030** griff die Idee auf und kündigte einen „Fahrplan für die Anpflanzung von mindestens 3 Milliarden zusätzlichen Bäumen bis 2030“ an³². Im Anhang dazu wird dieser „Fahrplan“ in Etappenziele differenziert, von denen Etappenziel 1 wiederum nur eine Absichtserklärung enthielt:

Veröffentlichung der Leitlinien für biodiversitätsfreundliche Auf- und Wiederaufforstung, die derzeit in der Arbeitsgruppe „Wald und Natur“ erarbeitet werden, bis zum ersten Quartal 2022. Sie werden auch die Agroforstwirtschaft sowie Bäume im städtischen Raum abdecken.

Ergänzend zum Lebensraum „Wald“ werden hier ergänzend neue Zielräume genannt. Die Baumpflanzstrategie soll auf die zweifellos sinnvolle Entwicklung von Agroforstwirtschaft sowie die Begrünung von Stadträumen ausgeweitet werden. Im April 2023 erschienen besagte **Leitlinien**, die aber das 3 Milliarden Bäume-Ziel auch nicht weiter konkretisierten. Man erfährt hier lediglich in einer Fußnote, dass nun auch „Gehölze mitgezählt werden“ sollen³³.

Im November 2023 teilt die EU der Presse zum Gesetzgebungsverfahren für das „Nature Restoration Law“ mit³⁴

Die beiden gesetzgebenden Organe haben auch eine Bestimmung aufgenommen, nach der die Mitgliedstaaten aufgefordert werden, zur Anpflanzung von mindestens drei Milliarden zusätzlichen Bäumen auf EU-Ebene bis 2030 beizutragen.

Und in der (Stand August 2024 nur in Englisch publizierten) Beschlussvorlage zum „Nature Restoration Law“³⁵ ist nun ein neuer Artikel 13 eingefügt:

Artikel 13 | Drei Milliarden zusätzliche Bäume pflanzen

1. Bei der Ermittlung und Umsetzung der Wiederherstellungsmaßnahmen zur Erfüllung der in den Artikeln 4 und 8 bis 12 genannten Ziele und Verpflichtungen streben die Mitgliedstaaten an, zu der

³⁰ vgl. die Vorstellung des Kommissionsentwurfs in <https://homersheimat.de/res/pdf/Klimaanpassung.pdf>, Abschnitt 7.

³¹ Hauptdokument in Deutsch, dort S. 17: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:a3c806a6-9ab3-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF

³² EU-Waldstrategie, S. 18: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0572>.

³³ <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/1c4561c7-7c54-11ee-99ba-01aa75ed71a1>

³⁴ Pressemeldung vom 22.11.2023: <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2023/11/09/nature-restoration-council-and-parliament-reach-agreement-on-new-rules-to-restore-and-preserve-degraded-habitats-in-the-eu/>

³⁵ Final text adopted by European Parliament and Council: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-74-2023-INIT/en/pdf>

Verpflichtung beizutragen, bis 2030 auf Unionsebene mindestens drei Milliarden zusätzliche Bäume zu pflanzen.

- Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass ihr Beitrag zur Erfüllung der in Absatz 1 genannten Verpflichtung unter uneingeschränkter Achtung der ökologischen Grundsätze geleistet wird, unter anderem durch die Gewährleistung der Artenvielfalt und der Altersstrukturvielfalt, indem sie einheimischen Baumarten Vorrang einräumen, mit Ausnahme – in ganz bestimmten Fällen und unter ganz bestimmten Bedingungen – nicht einheimischer Arten, die an die örtlichen Boden-, Klima- und ökologischen Verhältnisse und Lebensraumbedingungen angepasst sind und zur Förderung einer erhöhten Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel beitragen. Die Maßnahmen zur Erfüllung dieser Verpflichtung zielen auf eine Verbesserung der ökologischen Konnektivität ab und basieren auf nachhaltiger Aufforstung, Wiederaufforstung und Baumpflanzung und der Vergrößerung städtischer Grünflächen.*

Die Ausweitung der Zielräume aus der Waldstrategie hat sich jetzt auch hier niedergeschlagen. Doch konkrete Regelungen, wie man sich **3 Milliarden Bäume** (vor allem als Verstärkung oder Erweiterung vorhandener Wälder zwecks Steigerung der Kohlenstoffbindung) vorzustellen hat, fehlen noch immer.

Das ist auch gar nicht so einfach zu klären. Spielen wir das Szenario konkret durch:

Das Bundesinformationszentrum Landwirtschaft in Bonn, Teil der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, beansprucht, „ausgewogene und verständliche Informationen zu allen Themen rund um die Landwirtschaft“ zu liefern. Auf seiner Website³⁶ beantwortet es die Frage ...

Wie viele Bäume wachsen in Deutschlands Wäldern?

... mit:

Deutschland ist ein walddreiches Land. Etwa ein Drittel der Gesamtfläche ist mit Wald bedeckt. Auf diesen 11,4 Millionen Hektar Waldfläche stehen rund 90 Milliarden Bäume.

Das wären rechnerisch rund 7.900 Bäume pro Hektar! Kann das wirklich sein? Das übergeordnete Bundesministerium ist da ein klein wenig differenzierter³⁷:

In Deutschlands Wäldern wachsen 90 Milliarden Bäume, davon rund 7,6 Milliarden Bäume ab sieben Zentimeter Brusthöhendurchmesser.

Die allermeisten der 90 Milliarden „Bäume“ sind also nur kleine Schösslinge. Schön, wenn Naturverjüngung tatsächlich so viele zukünftige Bäumchen in Deutschland hervorbringen sollte (auch wenn daran Zweifel bestehen). Ab dem 7 cm dicken Heranwachsenden-Alter sind es dann aber nur noch rund 670 Bäume/ha.

Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen nennt auf ihrer Website³⁸ diese Zahlen für einen ausgewachsenen Wald (Bäume nach Arten pro Hektar): Kiefer 250 | Eiche: 100 | Buche: 150 | Fichte: 400.

Die Bayerische Forstverwaltung³⁹ empfiehlt für die Neupflanzung von Waldflächen Stückzahlen je nach Baumart zwischen 2.000 bis 2.500 für die Weißtanne und 6.500-8.000 Pflanzen für die Buche. Man benötigt also sehr viele kleine Baumpflänzchen, um Jahrzehnte später einen ordentlichen Wald mit relativ wenigen Bäumen zu bekommen.

Nehmen wir einen mittleren Wert von 6.000 Pflanzen pro ha für die Waldneuanlage, der mit zunehmendem Aufwuchs immer mehr ausgedünnt wird, dann würden die 3 Milliarden EU-Baumpflänzchen eine Fläche von 500.000 ha füllen. Gemessen an den ca. 11,4 Mio. ha großen Waldflächen Deutschlands würde der von der EU geforderte Neuwald nur 4,4% der deutschen Wälder ausmachen. Verschwindend gering gerät sein

³⁶ Leitlinien für biodiversitätsfreundliche Aufforstung, Wiederaufforstung und Anpflanzung von Bäumen: <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/1c4561c7-7c54-11ee-99ba-01aa75ed71a1>. Besagte Fußnote 14 findet sich auf S. 8.

³⁷ https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Downloads/BMEL_BW13_Flyer_Web.pdf

³⁸ https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/36164_Schaetzhilfen_Wieviel_Festmeter_und_Baeume_stehen_in_meinem_Wald

³⁹ <https://www.waldbesitzer-portal.bayern.de/048784/index.php>

Verhältnis zu den gesamten Waldflächen der EU-Staaten mit 159,558 Mio. ha⁴⁰: die 3 Milliarden neuen Bäumchen würden die Wälder der EU nur um kümmerliche 0,3 % vergrößern.

Damit rettet die EU das Klima nicht! Die 3 Milliarden EU-Bäume lägen als Neuwaldanpflanzung oder Verdichtung vorhandener Wälder in einer klimapolitisch irrelevanten Größenordnung. Ihr Kohlenstoffbindungseffekt wäre gemessen an dem, was erforderlich wäre, gering. Die EU-Bäume geraten zur bloßen **Symbolpolitik**, die mit der Faszination einer großen Zahl Eindruck schinden will.

Es sei denn, die EU würde mit ihren „3 Milliarden“ allein auf Bäume ab dem 7 cm dicken Heranwachsenden-Alter abzielen, die nicht in Aufforstungen, sondern als in Baumschulen vorgezogene Agroforst- oder Stadtbäume unterkommen. Dann entstünden immerhin neue Baumflächen in der Größenordnung von 4,5 Mio. ha, die knapp 3 % der gesamten EU-Waldflächen entsprächen. Doch eine derart wohlwollende Interpretation lässt sich bislang nicht auf die „Leitlinien“ zur Umsetzung des „Fahrplans“ zur „EU Waldstrategie 2030“ stützen⁴¹, die vor allem eine ‚nachhaltige‘ Stärkung der bestehenden Wälder sowie Aufforstungen, und nur ergänzend Baumpflanzungen in Agroforstkulturen sowie Stadträumen im Blick hat.

Brechen wir das 3 Milliarden Bäume-EU-Programm auf Darmstadt herunter:

Das Gemarkungsgebiet Darmstadts macht mit gut 122 km² nur einen winzigen Teil der EU-Flächen von rund 446 Mio. km² aus. Von den 3 Milliarden EU-Bäumen entfielen auf Darmstadt flächenanteilig nur 890 Bäume. Damit lässt sich keine Aufforstung darstellen. Selbst gemessen an den zur Zeit erfassten 39.000 Bäumen im Darmstädter Stadtgebiet⁴² ist ein solcher Baumzuwachs marginal – er würde nur 2 % der Bestandsbäume entsprechen.

Dennoch ließe sich mit diesen Bäumen bei geeigneten Konzepten eine Menge bewirken: Die sich aufheizende Stadt braucht vor allem Kühlung durch Bäume, denen genügend (Zisternen-)Wasser bereitgestellt wird, so dass sie insbesondere an heißen Tagen bei hinreichender Wasserversorgung ihre kühlende Transpirationsleistung erbringen können. Eine solche grüne Kühlanlage mit kompletter Beschattung einer allgemein zugänglichen unversiegelten Erholungsfläche darunter ist in der Kernstadt nur noch auf dem **Marienplatz** vorstellbar (nachdem der erneuerte Friedensplatz seine teuer bezahlte Steinversiegelung erhalten hat). Es braucht nur 96 Bäume, um einen guten Hektar auf dem Marienplatz zu einer solchen grünen Kühlanlage zu machen (Abb. 11):

Abb. 11: Nur 8 x 12 gut bewässerte Bäume auf dem Marienplatz könnten effektive Kühlung in die überhitzte Stadt bringen. Die geplante dichte Bebauung würde hingegen die Aufheizung befördern.



⁴⁰ Waldflächen der einzelnen EU-Länder: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/de/sheet/105/die-europaische-union-und-die-walder>. Es gibt unter den EU-Mitgliedern keine gemeinsame Definition von „Wald“, daher ist die auf der Website dargelegte spezifische Klassifizierung von Eurostat zu beachten, die auch große Leerräume zu „Wald“ erklärt.

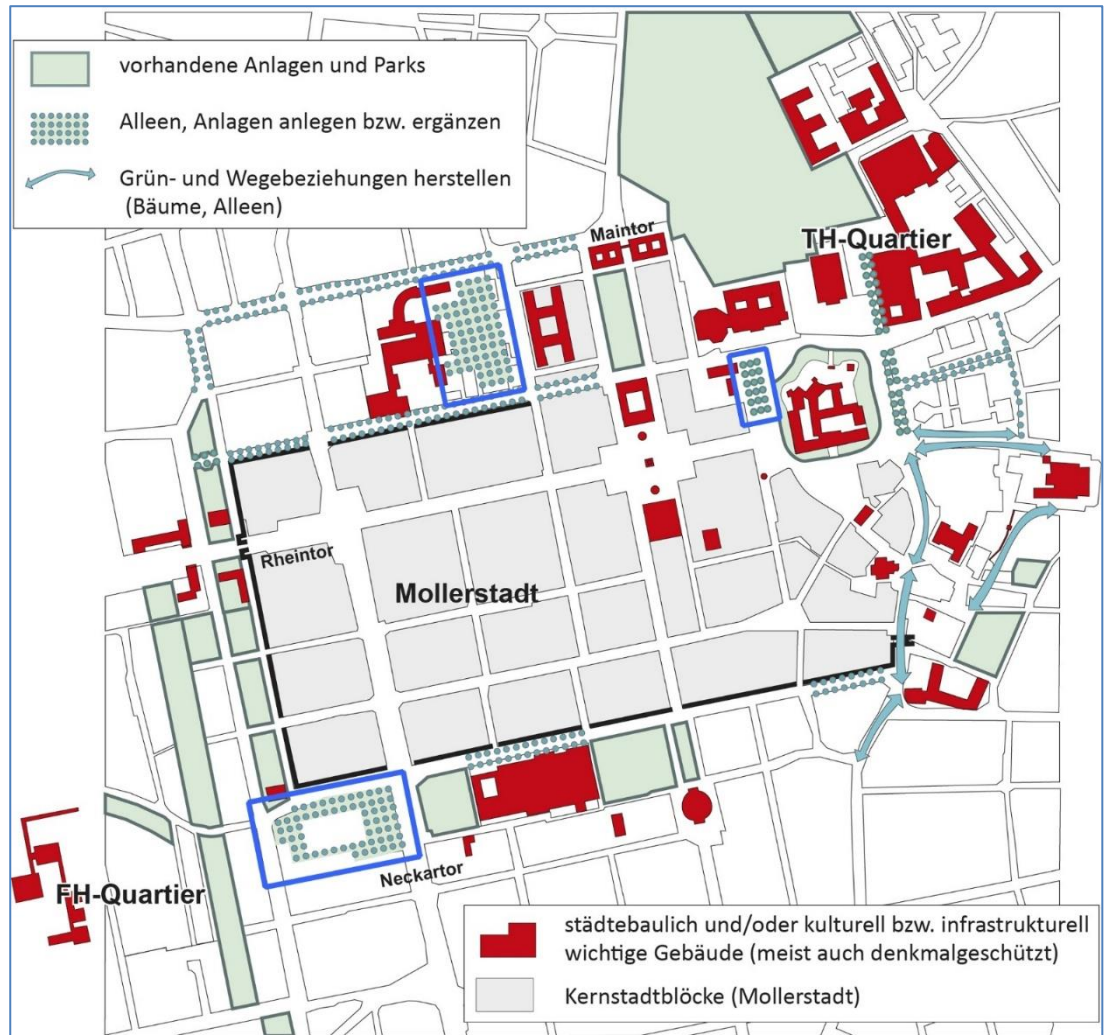
⁴¹ Die neue „EU-Waldstrategie für 2030“, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0572>, mit Anhang „Fahrplan für die Maßnahmen der Kommission zur Umsetzung der Zusage, bis 2030 in der EU 3 Milliarden zusätzliche Bäume zu pflanzen“, dazu die Leitlinien zu „Etappenziel 1“ des „Fahrplans“: <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/1c4561c7-7c54-11ee-99ba-01aa75ed71a1>.

⁴² <https://www.darmstadt.de/leben-in-darmstadt/umwelt/wald-und-baeume/stadtbaeume>

Das Problem besteht also eher darin, wo die (insgesamt 890 – 96 Marienplatz =) 794 restlichen Darmstädter „EU-Bäume“ möglichst stadtklimawirksam im Stadtgebiet untergebracht werden, weil es weitere 8 vergleichbare und begrünbare Plätze wie den Marienplatz in Darmstadt nicht gibt.

Weder die Probleme der Stadtraumüberhitzung noch die möglichen Gegenmaßnahmen durch kühlende Bauminseln sind neu, sondern seit den 1990-er Jahren auch in Darmstadt kommuniziert. Damals hatten die Darmstädter Grünen derartige Maßnahmen noch im Programm. Ein Konzept zur Entwicklung des Darmstädter „Anlagenrings“ aus dem Jahr 1998 skizzierte mögliche Grünraumentwicklungen in der Darmstädter Kernstadt (Abb. 12⁴³):

Abb. 12: 1998-er Konzept zur Entwicklung des „Anlagenrings“ in Darmstadt: drei für die Pflanzung kühlender Bauminseln geeignete Plätze sind blau umrahmt. Der potenzielle Grünraum auf dem Klinikgelände ist inzwischen vollständig bebaut, der Friedensplatz betonierte. Nur der Marienplatz ist – noch – frei. Die Technische Universität hieß damals noch „Technische Hochschule (TH)“, die „Hochschule Darmstadt (h_da)“ noch „Fachhochschule (FH)“.



Es ist also in Darmstadt ein Drittel Jahrhundert vergangen, ohne dass angemessene Konsequenzen gezogen wurden. Wenn unverändert etwa eine Bebauung des Marienplatzes forciert wird (B-Plan M 34), so zeigt dies, dass die erforderlichen Maßnahmen zur Klimaanpassung noch immer keine Priorität haben.

Mit solchen Konzepten verlassen wir allerdings den Kontext dieses Textes, der auf den Kohlenstoffkreislauf und die zu steigernde Kohlenstoffbindung in den Biota abhebt. Natürlich binden auch ausgewachsene Stadt- und Agroforstkulturbäume Kohlenstoff. Ihre Relevanz liegt allerdings mehr in ihrer Kühlungsfunktion und Schattenspende (Stadtbäume) bzw. Wasserhaltung und Schattenspende in Agroforstkulturen.

Schon die stadtklimawirksame Unterbringung von 890 EU-Bäumen in Darmstadt macht erhebliche Probleme. Was soll da erst aus Szenarien werden, wie sie Gorshkov et al.⁴⁴ zur Rekonstruktion großer Wälder entworfen haben, um den Klimawandel im erforderlichen Maßstab entgegenzuwirken. Deren Szenario wirkt so unreal, dass es nicht mehr in unserer europäischen Politik, sondern nur noch in Hollywood vorstellbar scheint:

⁴³ Konzeptentwurf des Autors dieses Textes

⁴⁴ Gorshkov et al. a.a.O., Kapitel 6.6, „Der Wasserkreislauf“, S. 176

... Die natürliche Wiederaufforstung von Wüsten kann also nur an den Ufern großer Wasserreservoirs – Meere, große Seen und Flüsse – beginnen, wenn eine 1000 Kilometer breite Waldfront allmählich in das verwüstete Gebiet eindringt und auf bereits besiedelten Flächen einen biotischen Feuchtigkeitsvorrat schafft und so eine weitere Ausbreitung des Waldes ermöglicht...

Gleichwohl gibt es tatsächlich ein derart ‚verrücktes‘ Projekt: Die „Great Green Wall“ quer durch Afrika, rund 8.000 km lang, entlang der degradierten Sahel-Region (Abb. 11)⁴⁵:

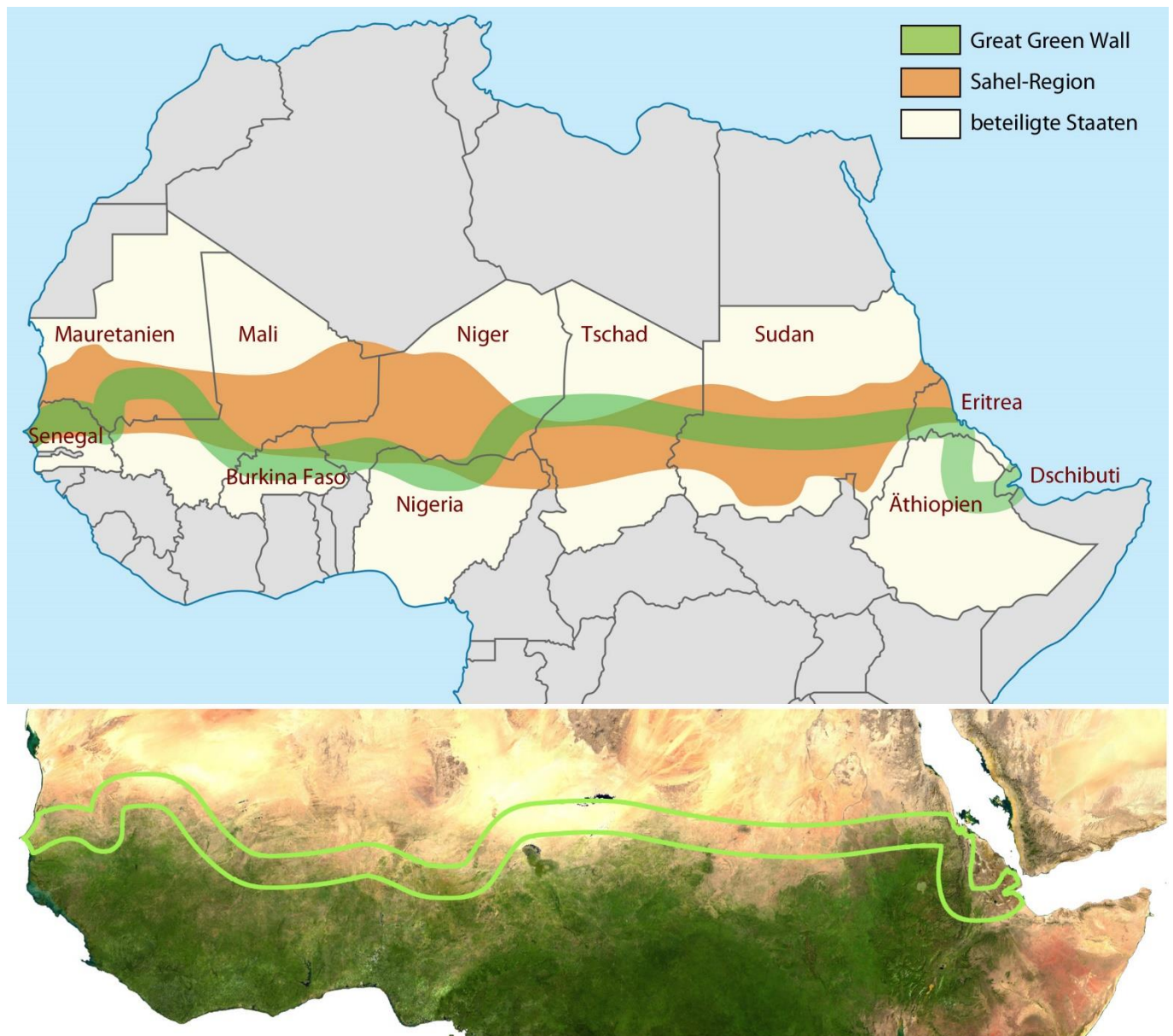


Abb. 13: Oben eine Flächenskizze zum Projekt der Great Green Wall durch die weiß hervorgehobenen beteiligten Staaten in der Sahel-Region; unten eine Überlagerung der Projektflächenkontur auf eine Vegetationskarte (Satellitenbild); nach en.wikipedia.org.

Das Projekt der „Great Green Wall“ befasst sich nicht mit stark interpretationsbedürftigen und nur scheinbar beeindruckenden Baumzahlvorgaben, sondern mit konkreten Flächen in 11 beteiligten Staaten: es will 100 Millionen ha degradiertes Land wiederherstellen. Das erfüllt allemal die Größenmaßstäbe von Gorshkov, setzt jedoch nicht an großen offenen Wasserflächen, sondern an den (noch) vorhandenen Regenwäldern

⁴⁵ nature 05.05.2022 „How to make Africa’s ‘Great Green Wall’ a success“, <https://www.nature.com/articles/d41586-022-01201-4>; [https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Green_Wall_\(Africa\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Green_Wall_(Africa)); nature 605, 8 (04.05.2022), <https://www.nature.com/articles/d41586-022-01201-4>; Dokumente der UNCCD: <https://www.unccd.int/resources/all-resources?search=Great+Green+Wall#> .

Äquatorialafrikas an und versucht, deren „fliegende Flüsse“ weiter nach Norden in sich neu anschließende Biota strömen zu lassen. *Das* setzt Maßstäbe!

Das Projekt ist allerdings durch terroristische Bedrohung, fehlende politische Unterstützung und unzureichende Finanzierung gefährdet.

Anhang: Der vernachlässigte Wasserdampf in der Atmosphäre

Da dieser letzte Abschnitt nicht unmittelbar mit dem Schwerpunkt dieses Textes, dem Kohlenstoffkreislauf, zu tun hat, wird er in einen Anhang genommen. Er ist jedoch als Kontext zum Treibhausgas CO₂ und damit auch zum Kohlenstoffkreislauf wichtig:

Will man über allgemein gut verfügbare Quellen Genaueres über die **Zusammensetzung der Erdatmosphäre** wissen, in der das CO₂ seine ‚böse‘ Rolle spielt, trifft man auf erstaunliche Lückenhaftigkeit. Wikipedia äußert sich – ähnlich wie viele andere über das Web erreichbare Quellen – nur im Ungefähren⁴⁶. Zitat Wikipedia, hier in Spalten organisiert, Spalte „Treibhausgas?“ sowie „k.A.“ ergänzt:

Die bodennahen Schichten bis in etwa 90 km Höhe ... haben eine recht gleichförmige Zusammensetzung... Was als Luft bezeichnet wird, besteht im Wesentlichen bei Außerachtlassen des wechselnden Wasserdampfgehalts (d. h. in Volumenprozent trockener, wasserdampffreier Luft) aus:

Gase	Anteile	„Treibhausgas“?
– Stickstoff (N ₂)	78,08 %	nein
– Sauerstoff (O ₂)	20,95 %	nein
– Argon (Ar)	0,93 %	nein

dazu Aerosole und Spurengase, darunter:

– Kohlenstoffdioxid (CO ₂)	0,04 %	ja
--	--------	----

nach Wasserdampf der wichtigste Verursacher des Treibhauseffekts,

ferner:

– Methan (CH ₄)	k.A.	ja
– Ozon (O ₃)	k.A.	nein
– Fluorchlorkohlenwasserstoffe	k.A.	ja
– Schwefeldioxid (SO ₂)	k.A.	nein
– Stickstoffverbindungen	k.A.	N ₂ O ja

// Ende Zitat Wikipedia.

Von den vielen Atmosphären-Bestandteilen, die in der von Wikipedia ausgewiesenen Quelle aufgelistet werden, nennt das Online-Lexikon nur für vier Gase anteilige Volumenprozent, darunter das **„Treibhausgas CO₂“** mit lediglich 0,04 %. Für alle anderen werden keine Anteilswerte ausgewiesen – insbesondere nicht für Methan und auch nicht für Lachgas, das sich unter der Residualkategorie „Stickstoffverbindungen“ verbirgt.

Eine noch gravierendere Lücke bedeutet die Einschränkung, dass **Wasserdampf** zwar als „wichtigster Verursacher des Treibhauseffekts“ vermerkt wird, nicht aber in die Auflistung eingeht, weil man sich auf „trockene Luft“ beschränkt. Warum diese Einschränkung? Dass der Wasserdampfgehalt „wechselt“, ist als Begründung wenig überzeugend, es gibt allerorten schwankende, unsichere oder gar unbekannte Parameter – der Einwand gilt auch für CO₂ (vgl. oben die Abbildungen 6 a und b). Warum also ausgerechnet das „wichtigste“ Treibhausgas in den Betrachtungen fehlt, erklärt sich nicht. Vielleicht hängt es an der Fehlsteuerung, dass es

⁴⁶ <https://de.wikipedia.org/wiki/Erdatmosphäre> mit dem einzigen Archivquellenausweis in: <http://web.archive.org/web/20160820013125/http://cdiac.ornl.gov/tracegases.html>. Das Lexikon des Deutschen Wetterdienstes ist auch nicht auskunftsfreudiger (zum Stichwort „Erdatmosphäre“): <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Func-tions/glossar.html?lv3=100744&lv2=100652>. Zitierte Wikipedia-Angaben hier ergänzt um die Spalte „Treibhausgas?“

schon im Kyoto-Protokoll von 1997, mit dem das Klimathema in der Politik einen gewissen Schub bekam, nicht genannt wird⁴⁷ – aber auch das müsste einen Grund gehabt haben!?

Wasser kann in der Atmosphäre in drei Aggregatzuständen auftreten: als flüssiges Wasser (Tröpfchen in Wolken, die sich bei hinreichender Größe von $\geq 0,1$ mm und verfügbaren Kondensationskeimen abregnen), als gefrorenes Wasser (Eiskristalle, die als Schnee, Graupel oder Hagel herunterkommen) und als gasförmiges Wasser („Wasserdampf“). Nur dies **Gas** ist – wie CO_2 , Methan und Lachgas – in der Lage, Sonneneinstrahlung als Wärme zu absorbieren und trägt auf diese Weise vor allem dazu bei, dass auf der Erde für Menschen erträglich warme Lebensbedingungen herrschen. Alle anderen Atmosphärgase wie insbesondere die Hauptanteile Stickstoff, Sauerstoff oder Argon haben diese Wärme-Absorptionsfähigkeit *nicht*, sind deshalb auch keine „Treibhausgase“.

Zur Wasserdampfverteilung gibt es durchaus Quellen, die sich nicht in den IPCC-Berichten finden, mit denen man sich aber näher befassen sollte⁴⁸:

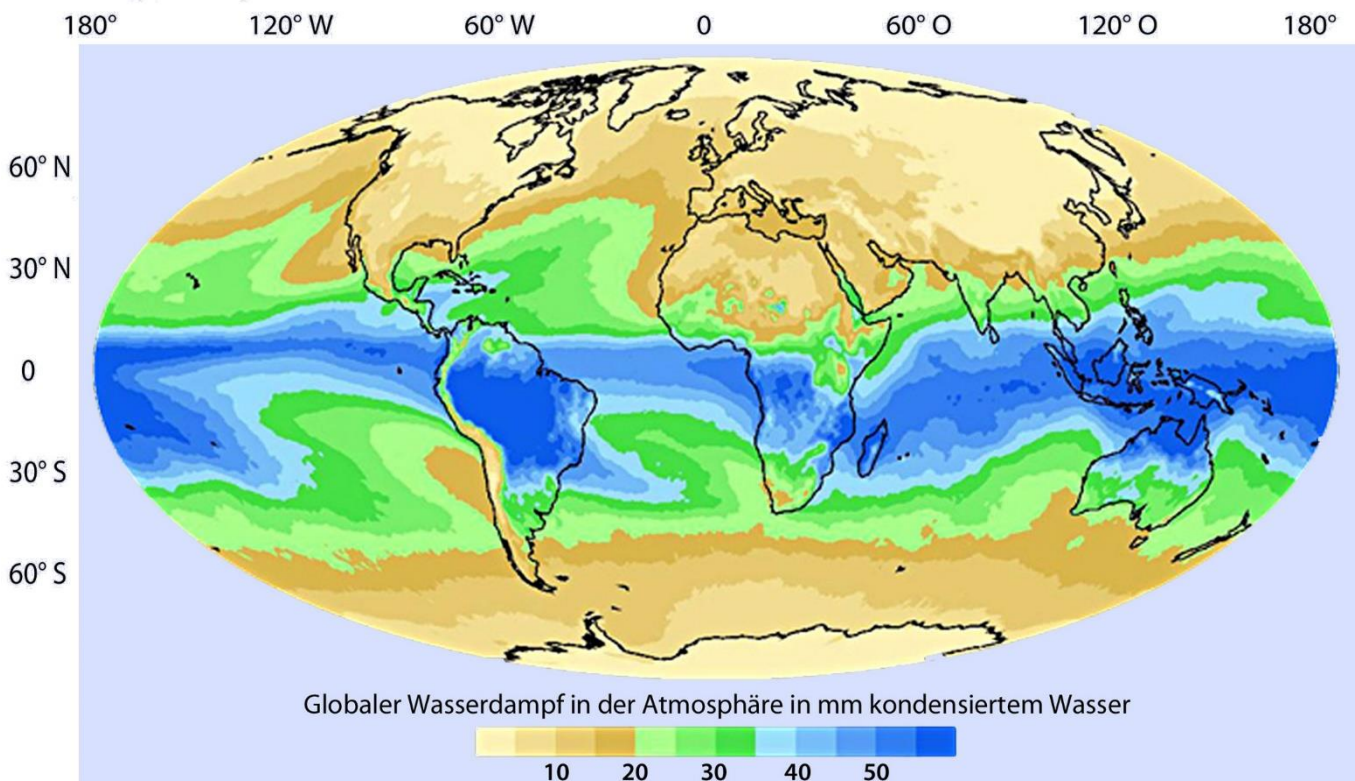


Abb. 14: Globale Verteilung der Wasserdampf-Konzentration in der Atmosphäre.

Unverkennbar bildet sich der meiste Wasserdampf im Tropengürtel, weil dort die Sonneneinstrahlung am direktesten und es dort am wärmsten ist, so dass mehr Wasserdampf in der Atmosphäre gebunden werden kann. Außerdem sorgt hier in besonderem Maße die Verdunstung der Regenwälder für beständigen Wasserdampfnachschub und speist so einen besonders intensiven Wasserkreislauf. In den kalten Polarregionen hingegen bildet sich kaum Wasserdampf (allenfalls aus Sublimation auf den Schnee- und Eisflächen).

Diese Wasserdampfverteilung harmoniert mit einer entsprechenden Verteilung der Niederschläge, die sich aus kondensierendem Wasserdampf bilden (Abb. 4). Sie sind im Tropengürtel besonders stark (gelb bis rot) und dies über Land insbesondere im Amazonasbecken sowie im südasiatischen Inselraum, auffällig geringer

⁴⁷ Das „Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen“ vom 11. Dezember 1997 (deutsche Version unter <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpger.pdf>) nennt in Anlage A diese Treibhausgase: Kohlendioxid (CO_2) | Methan (CH_4) | Distickstoffoxid (N_2O) | Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC) | Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC) | Schwefelhexafluorid (SF_6).

⁴⁸ Darstellung nach einem Diagramm auf dem „Bildungsserver“ <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Wasserdampf>, dort mit dieser Quellenangabe: Bild nach NASA Aqua Project Science. Der angegebene Link ist tot. Eine ähnliche Abb. findet sich auf: <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA12097>.

hingegen über dem zentralafrikanischen Regenwald. Das ist wohl auch kein Wunder, wenn man sich die Dichte der dort besonders stark wütenden Waldbrände ansieht⁴⁹, die bereits zur erheblichen Schädigung dieser Biota geführt haben.

Deutschland liegt bei den Niederschlägen im hellblauen Bereich von ≥ 2 mm/Tag, was auf der Wasserdampf-Verteilungskarte (Abb. 14) einer Kondenswassersäule von ≤ 10 mm entspricht:

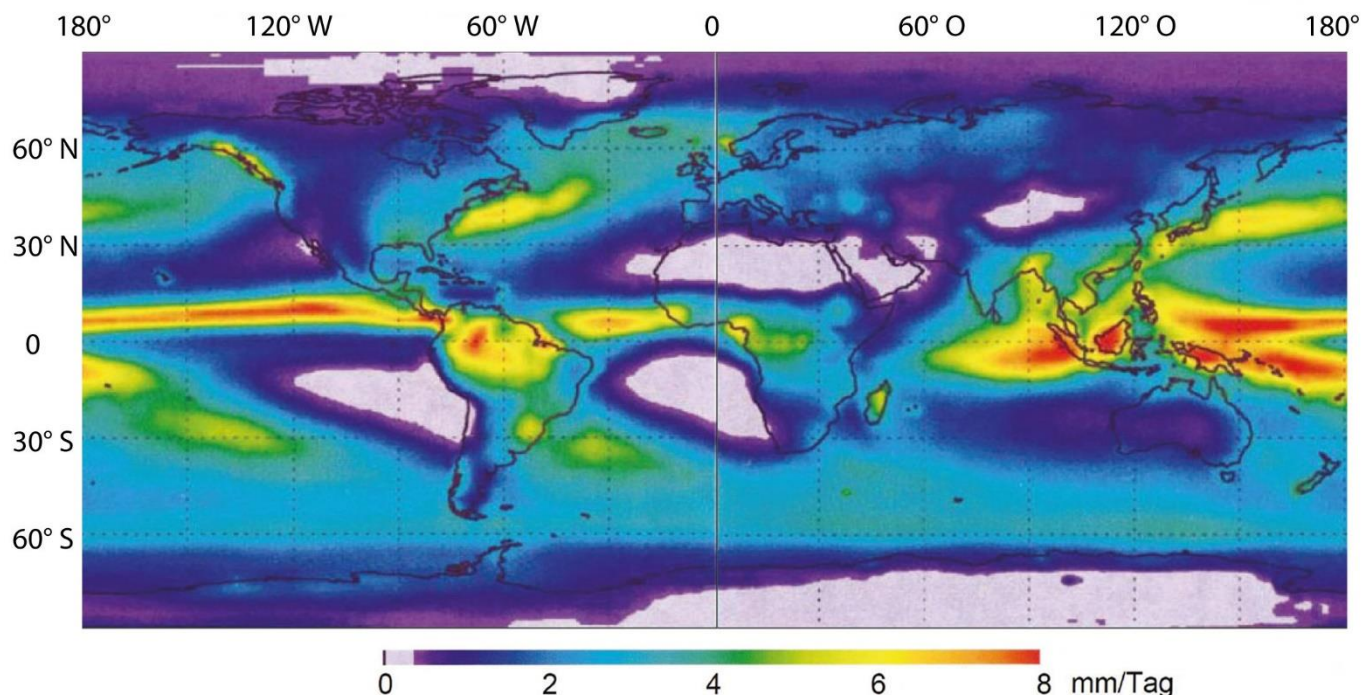


Abb. 15: Mittlere Niederschläge in mm/Tag, ermittelt aus dem Zeitraum 1979 bis 2001⁵⁰

Entgegen der eingangs zitierten Wikipedia-Darstellung ist die Zusammensetzung der Atmosphärgase keineswegs „recht gleichförmig“⁵¹. Wasserdampf ist nicht nur – wie Abb. 14 zeigte – sehr inhomogen über die Erde verteilt, sondern seine Konzentration nimmt auch mit der Höhe schnell ab – **Tabelle 1**:

Luftdruckbereich [hPa]	entspricht Höhenbereich [km]	Wasserdampf global [mm]
500-300	5,5–9	1,5
700-500	3–5,5	4,6
Boden-700	0–3	18,9
Summe	0 – 9	25,0

Die Tabelle⁵² zeigt Wasserdampf-Mittelwerte als Kondenswassersäulen in mm aus dem Zeitraum 1988 bis 1992 im globalen Durchschnitt. Wasserdampf konzentriert sich klar im untersten Bereich der Atmosphäre.

⁴⁹ NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System)

<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs;@-360.8,0.0,2.7z>

⁵⁰ M. Quante, Verteilung und Transport des Wassers in der Atmosphäre; in: Lozán, J.L. u.a., Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle? Hamburg 2004; online: https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/warnsignal-klima/warnsignal_klima_wasser_kap1_1.6_quante.pdf. Die Darstellung wurde hier so ummontiert, dass sich – wie in der Wasserdampfverteilungskarte – der Nullmeridian in der Bildmitte befindet.

⁵¹ Eine „gleichförmige“ Zusammensetzung gilt bereits nicht für das Treibhausgas CO₂, dessen Konzentration in der Atmosphäre – wie Abschnitt 2 zeigte – nicht nur im Rhythmus des Vegetationsjahres schwankt, sondern auch regional stark variiert, mit Schwerpunkten auf der industrialisierten Zone der Nordhemisphäre.

⁵² nach Quante, Verteilung und Transport des Wassers in der Atmosphäre, a.a.O.

Ergänzend weiß man: fast die Hälfte bleibt unterhalb von 1,5 km Höhe, während sich oberhalb von 5 km nur noch 5 % des Wasserdampfs verteilen.

Da in Abb. 14 und Tabelle 1 die Wasserdampfmengen nicht in Volumenprozenten angegeben werden, sondern (wie bei Niederschlägen) in mm, lassen sich die Daten der Tabelle 1 nicht in die prozentuale Aufschlüsselung der Atmosphärogase einbetten (wie sie eingangs am Beispiel Wikipedia gezeigt wurde). Der Deutsche Wetterdienst nennt in seinem online-Lexikon eine „*wechselnde Konzentration von 0 % bis etwa 4 % des Luftvolumens*“⁵³. Mit diesem *prozentualen* Anteil wäre das „Treibhausgas“ Wasserdampf noch vor Argon an dritter Stelle in die Atmosphärenzusammensetzung einzuordnen!

Und noch ein weiterer Größenvergleich: Aus Tabelle 1 ergibt sich ein globaler Durchschnittswert für den in der Atmosphäre gelösten Wasserdampf von 25 mm Kondenswassersäule. Da die Erdoberfläche ca. 510 Mio. km² Fläche einnimmt, lässt sich aus diesen beiden Eingangsdaten die Masse des in der Atmosphäre gelösten Treibhausgases „Wasserdampf“ mit 12.750 Gigatonnen (Gt) berechnen. Demgegenüber weist der IPCC das in der Atmosphäre gelöste Treibhausgas CO₂ mit 870 Gt aus⁵⁴, darin ein anthropogener Anteil von 279 Gt. Wäre also die fast 15-fache Masse des Wasserdampfs kein hinreichender Grund, auch dies Treibhausgas in die Gesamtbetrachtung angemessen und systematisch aufzunehmen?

Doch gemessen an diesen Relevanzdaten fällt die Analyse seiner klimawirksamen Funktion allenthalben unzureichend aus. Man wüsste gerne genauer (ähnlich wie bei der CO₂-Konzentrationsverteilung – vgl. Abb. 6 a und b), welche regionalen klimatischen Auswirkungen die Verteilung der Wasserdampfkonzentrationen hat oder wie die regionalen Biota an der Wasserdampf-Produktion mitwirken und damit die Wasserdampfverteilung beeinflussen – bzw. auf Grund ihrer menschengemachten Zerstörung nicht mehr mitwirken und beeinflussen können. Doch aus der Wissenschaft, die sich in unzähligen Fachartikeln vor allem mit ihren Klimamodellen, deren Abstimmung und Feinjustierung befasst, ist bislang noch kein konsistentes Bild zur Rolle des Wasserdampfes im Klimaprozess ins Allgemeinverständnis vorgedrungen. Auch beim IPCC bleibt das Thema marginal⁵⁵. Aus all dem erklärt sich dann wohl auch, warum ambitionierte Enzyklopädisten wie die von Wikipedia vor allem Darstellungslücken produzieren (müssen).

Halten wir zumindest einen Eindruck fest: Gemessen in mm Kondenswassersäule erscheinen die in der Atmosphäre gelösten Wasserdampfmengen unglaublich klein. Selbst in den Tropen, wo vor allem die Biota durch ihre Verdunstungsleistung massiv an der Wasserdampfproduktion beteiligt sind, kommen wir nur auf bis zu 60 mm. Lediglich diese geringen Mengen halten die lebenswichtigen Wasserkreisläufe in Gang, sorgen für Wasserversorgung durch Niederschläge und regulieren das Klima auf der Erde durch Absorption von Sonneneinstrahlung und deren Umwandlung in Wärme. Es stellt sich eine Ahnung ein, wie labil sich dies System noch entwickeln könnte, wenn es ungebrochen mit der geballten technologischen Kraft der Menschheit zerstört wird.

Michael Siebert, August 2024

⁵³ <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv3=100744&lv2=100652>.

⁵⁴ IPCC 2021, WG I final Report, Figure 5.12 nebst Kommentierung.

⁵⁵ IPCC 2021 WG I final Report, PDF-S. 468, Abschnitt 3.3.2.2 mit nur einer Seite Text ohne jegliche Abbildungen.