

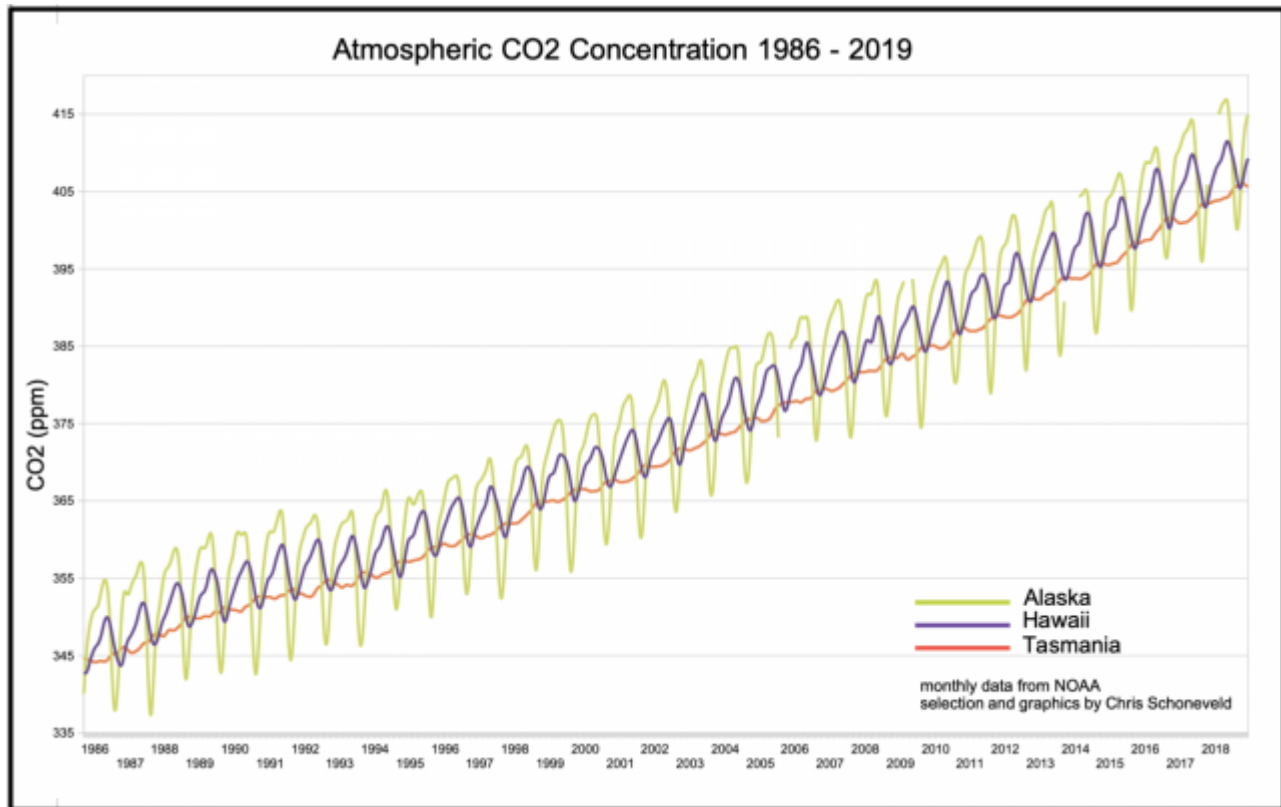
# Der globale Kohlenstoff-Haushalt: schöne Zahlen, vorgetäushtes Vertrauen, aber höchst fragwürdig (Teil 3)



Wenn wir jedoch eine Veränderung des saisonalen CO<sub>2</sub>-Zyklus feststellen können, könnte dies interessante Informationen darüber liefern, wie die Vegetation langfristig durch den Klimawandel und die CO<sub>2</sub>-Erhöhung beeinflusst wird. Bevor ich darauf näher eingehe, könnte eine kurze Erklärung des Ursprungs dieses Zyklus und seiner Unterschiede je nach Breitengrad für den Leser von Interesse sein

Der Zyklus, der uns fast immer präsentiert wird, ist der der Messstation auf dem Vulkan Mauna Loa auf Hawaii. Sie hat die längste Messreihe von allen Stationen und gilt als repräsentativ für den durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Gehalt auf der Erde. Bevor ich mich mit diesem Thema befasste, dachte ich immer, dass die so genannte Keelingkurve mit ihrem typischen Sägezahnmuster repräsentativ für die globale CO<sub>2</sub>-Konzentration sei. Das ist jedoch bei weitem nicht der Fall. Das atmosphärische CO<sub>2</sub> ist nicht homogen über die Erde verteilt. Offenbar sind große Zirkulationen, Wind und Turbulenzen nicht in der Lage, das CO<sub>2</sub>-Gas gleichmäßig über den ganzen Planeten zu verteilen.

Zum Beispiel messen Stationen in hohen Breitengraden der nördlichen Hemisphäre eine viel größere jahreszeitliche Amplitude als wir es vom Mauna Loa zu sehen gewohnt sind. Im Gegensatz dazu zeigen Messstationen in hohen Breiten in der südlichen Hemisphäre kaum ein Sägezahnmuster. In Abbildung 1 habe ich die Daten (dank NOAA) von drei Stationen, Alaska, Hawaii und Tasmanien, in einer Grafik zusammengefasst:



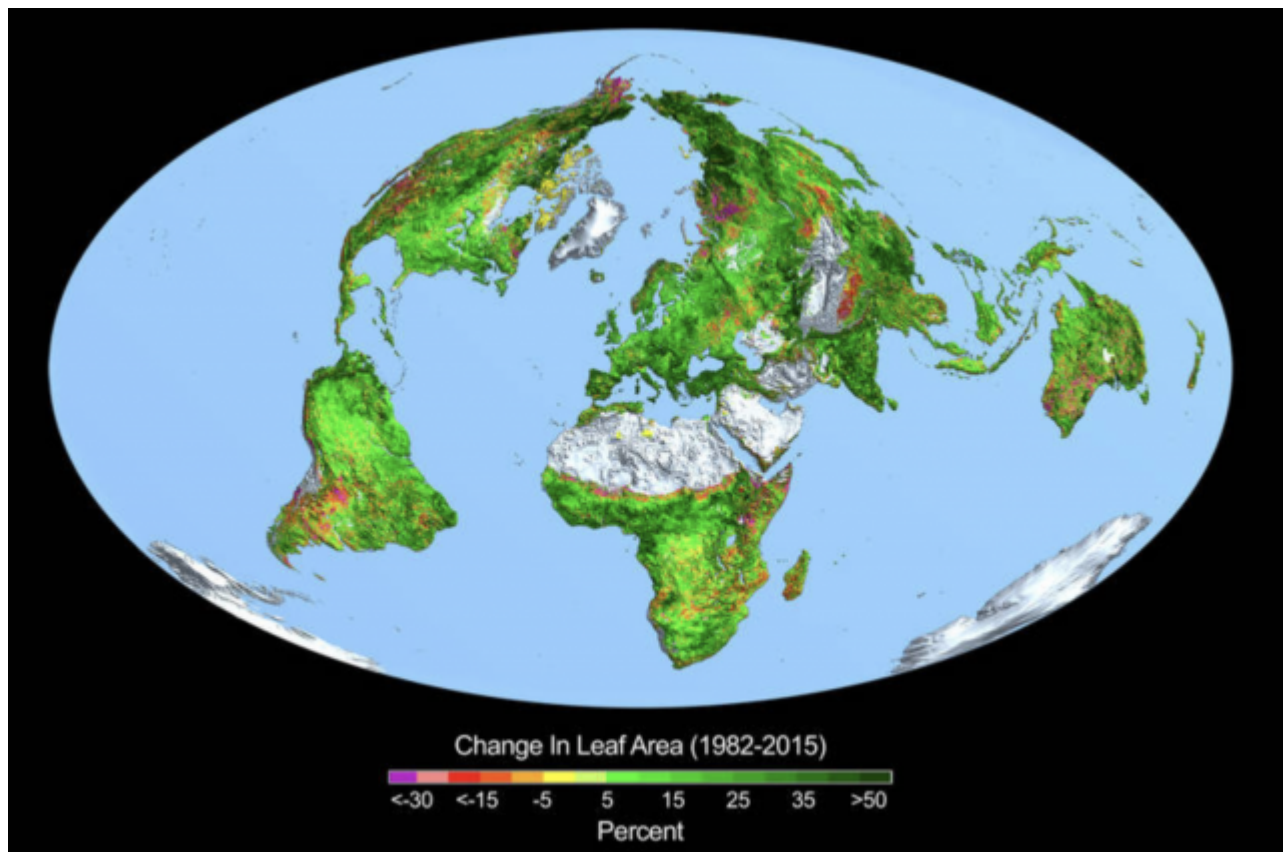
Aufgrund der ausgedehnten Wälder in hohen Breitengraden der nördlichen Hemisphäre sehen wir dort einen viel stärkeren jahreszeitlichen Einfluss als in vergleichbaren Breitengraden der südlichen Hemisphäre, wo es kaum Vegetation gibt. Die Zyklusamplitude in Alaska beträgt fast 20 ppm, während sie auf Hawaii nur 7 ppm und in Tasmanien 1 ppm beträgt. Interessant ist auch die Phasenverschiebung von 180 Grad: ein Tief in Tasmanien entspricht einem Hoch in Alaska; nicht überraschend, da auch die Jahreszeiten um 6 Monate verschoben sind. Auch die durchschnittliche Konzentration in der südlichen Hemisphäre ist fast 5 ppm niedriger als in der nördlichen Hemisphäre. Es findet also nur eine begrenzte Vermischung zwischen den beiden Hemisphären statt. Zudem liegt die erste etwa zweieinhalb Jahre hinter der zweiten zurück, ein weiterer Hinweis auf diese langsame Vermischung.

Ein weiterer interessanter Aspekt des Sägezahns ist, dass der Zeitraum, in dem die Photosynthese eine Nettoabnahme von CO<sub>2</sub> bewirkt, nur 4,5 Monate lang ist. Die Periode des CO<sub>2</sub>-Anstiegs beträgt also 7,5 Monate. Dieses Verhältnis war jedoch vor 50 Jahren anders: 5 und 7 Monate. Mehr dazu weiter unten.

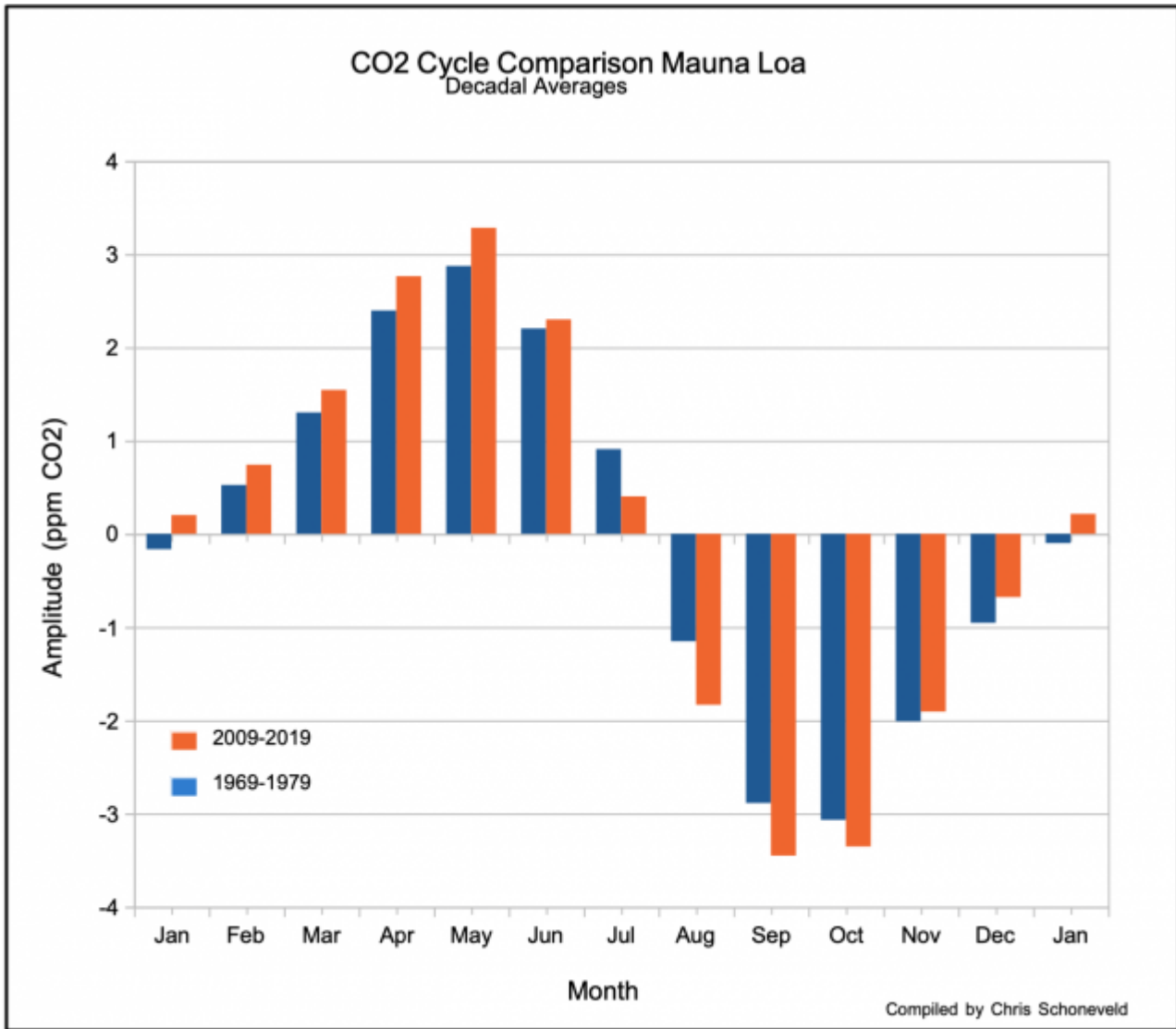
Wenn der Mauna Loa den Durchschnitt darstellt, würde dies bedeuten, dass die Atmosphäre zu dieser Jahreszeit einen Rekord von 888 GtC (= 417 ppm) erreicht hat, da der Sägezahn um Mitte Mai sein jährliches Maximum erreicht. Der tiefste Punkt in diesem Jahr wird um den 25. September mit einem Niveau von etwa 410 ppm (= 873 GtC) erreicht werden. Daraus könnte gefolgert werden, dass die Photosynthese während der Sommersaison im Durchschnitt nur 7 ppm (= 15 GtC) absorbiert. Wie lässt sich das mit den 120 GtC in Einklang bringen, die im Kohlenstoffhaushalt immer erwähnt werden? Die Erklärung liegt in der Tatsache, dass diese 15 GtC das Netto-Endergebnis von zwei gegenläufigen Prozessen sind: der Photosynthese und der Boden- und Pflanzenatmung. Im Sommer siegt die Photosynthese über die Boden- und Pflanzenatmung, was zu

einer Nettoabnahme von 15 GtC zwischen Mai und September führt.

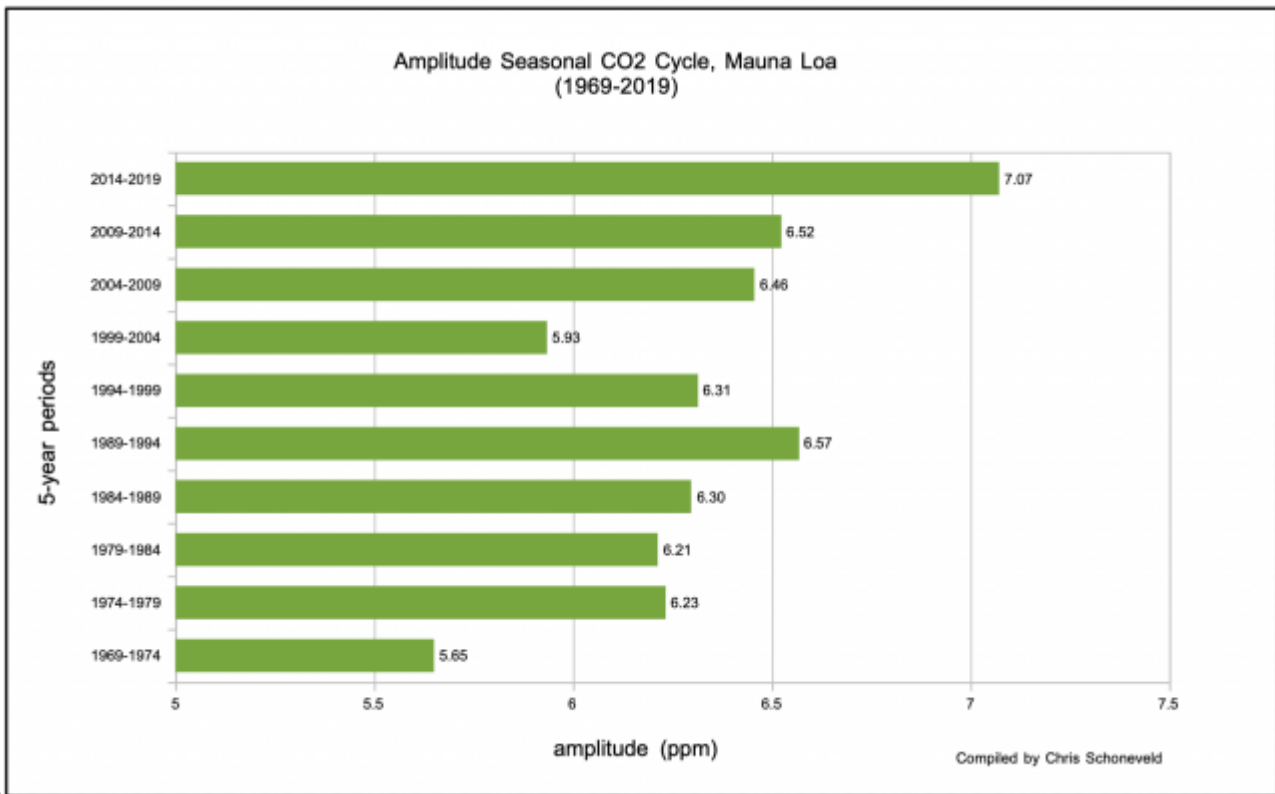
Die Tatsache, dass die Sägezahngraphik insgesamt einen Aufwärtstrend von 2 ppm/Jahr zeigt, bedeutet auch, dass jedes Jahr mehr CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre gelangt als aus ihr entfernt wird. Aber was ist mit der von Satelliten beobachteten Begrünung durch CO<sub>2</sub>-Düngung (Abbildung 2 und Ref. 1)? Die CO<sub>2</sub>-Zunahme verursacht zwar eine Begrünung, aber sie reicht nicht aus, um sowohl die menschlichen Emissionen als auch die erhöhte natürliche Atmung zu absorbieren (siehe Teil 1). Eine logische Frage, die man sich stellen kann: wirkt sich diese Begrünung auch auf das Sägezahnmuster aus? Ich habe das untersucht und bin zu einigen interessanten Schlussfolgerungen gekommen.



Um zu wissen, ob sich das Sägezahnmuster im Laufe der Zeit verändert hat, habe ich die letzten 50 Jahre in zehn 5-Jahres-Perioden unterteilt und – nach Trendbereinigung – den Durchschnitt jeder Periode ermittelt. Abbildung 3 vergleicht die durchschnittlichen Zyklen des ersten und des letzten Jahrzehnts dieser 50-Jahres-Periode.



Zwei Dinge fallen auf. Erstens: Der Tiefpunkt des Zyklus hat sich von Oktober auf September verschoben. Nach einem sorgfältigen Vergleich anhand der täglichen Messungen (die Monatsdurchschnitte zeigten zu wenig Details) wurde festgestellt, dass der Tiefpunkt des Zyklus' um fast 3 Wochen vorgerückt ist, während der Höhepunkt um Mitte Mai unverändert geblieben ist. Offenbar – im Kampf zwischen Photosynthese einerseits und Boden- und Pflanzenatmung andererseits – überwiegt der Abbau von organischem Material (Bodenatmung) früher als vor 50 Jahren. Zweitens hat die Amplitude des Zyklus um 1,4 ppm zugenommen: von 5,65 ppm auf 7,07 ppm, was einer Zunahme von 25% entspricht (Abbildung 4).



5

Es ist nicht überraschend, dass die Amplitude um 25% gestiegen ist, da auch der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre zugenommen hat, von 325 ppm im Jahr 1969 auf 410 ppm im Jahr 2019, was einer Zunahme von 26% entspricht. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Amplitudenzunahme ein Maß für die Zunahme der Photosynthese und damit auch der Begrünung ist. Wenn die jährliche Gesamtaufnahme von CO<sub>2</sub> durch die Photosynthese derzeit auf 120 GtC geschätzt wird, würde dies bedeuten, dass vor 50 Jahren die jährliche Aufnahmekapazität etwa 95 GtC betrug, 25 GtC weniger als heute.

Die Zunahme der Photosynthesekapazität von 25 GtC/Jahr übersteigt die Zunahme der menschlichen Emissionen. Diese lag 1969 bei etwa 5 GtC/Jahr und 2019 bei etwa 10 GtC/Jahr, eine Zunahme von „nur“ 5 GtC gegenüber den 25 GtC aufgrund der Begrünung. Wenn die Photosynthese so viel mehr absorbieren kann als die menschlichen Emissionen, widerspricht dies eindeutig der Hypothese, dass die menschlichen Emissionen die Hauptursache für den atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Anstieg sind.

Die Erklärung für diesen scheinbaren Widerspruch liegt darin, dass es eine andere CO<sub>2</sub>-Quelle geben muss, die noch dominanter ist und die Speicherkapazität der Photosynthese übersteigt. Nun schließt sich der Kreis und wir kehren zu dem Thema zurück, das ich in Teil 1 angesprochen habe, nämlich die „Bodenatmung“. Die Bodentemperatur ist in den letzten 50 Jahren um 1,5 Grad Celsius gestiegen, und dieser Anstieg hat der Bodenatmung einen enormen Auftrieb gegeben (siehe auch Ref. 2). Auf der Grundlage von in der Literatur beschriebenen Experimenten und Beobachtungen habe ich berechnet, dass die jährliche Bodenatmung in den letzten 50 Jahren um 25% zugenommen hat, was zusätzliche 12 GtC (oder vielleicht noch viel mehr) auf der Quellenseite des jährlichen Kohlenstoffhaushalts bedeutet. Die andere natürliche Quelle ist die Pflanzenatmung, die proportional (50%) mit der

Zunahme der Photosynthese zunimmt. Daher sind 50% von 25 GtC/Jahr 12,5 GtC/Jahr.

Der IPCC schätzt, dass der Ozean soviel absorbiert wie er emittiert (90 GtC/Jahr), mit Ausnahme einer kleinen zusätzlichen Aufnahme von 1,25 GtC/Jahr (im Vergleich zu 1969) aufgrund des erhöhten CO<sub>2</sub>-Partialdrucks. Die möglichen Emissionen durch Ausgasung als Folge der Erwärmung des Ozeans werden auf 16 ppm pro Grad C Erwärmung geschätzt. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Schätzung von einer Gleichgewichtssituation an der Grenzfläche zwischen Luft und Meer ausgeht, was nicht unbedingt auf die Tiefsee zutrifft, wo Strömungen und das Aufsteigen von kaltem CO<sub>2</sub>-reichem Wasser die Arbeit erschweren können. Die globale Erwärmung seit 1969 beträgt laut HADCRUT4 0,85 Grad C, was einer Ausgasung von 13,6 ppm (29 GtC) oder 0,6 GtC/Jahr entspricht.

Von allen oben zitierten Zahlen sind nur zwei das Ergebnis tatsächlicher harter Datenerhebung: a) CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre und b) CO<sub>2</sub>-Emissionen des Menschen. Alle anderen Zahlen sind Gegenstand von Schätzungen, die sich auf das Verständnis/die Interpretation komplexer biologischer, chemischer und physikalischer Prozesse stützen.

Nehmen wir für einen Moment an, dass die zusätzlichen 25 GtC bei der jährlichen Photosynthese kohlenstoffneutral sind (Aufnahme entspricht den Respirationsprozessen). Der jährliche zusätzliche CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Menschen beträgt 5 GtC, eine der beiden harten Zahlen. Die zusätzliche Bodenatmung beträgt 12 GtC aufgrund der steigenden Bodentemperatur. Die zusätzliche Ausgasung aufgrund des Anstiegs der Wassertemperatur in den Ozeanen wird auf 0,6 GtC geschätzt, das ist eine jährliche Gesamtzunahme von 17,6 GtC im Vergleich zu 1969.

Auf der Empfängerseite haben wir drei Reservoirs: Ozean, Land und Atmosphäre.

Die Menge, die die Atmosphäre jährlich zusätzlich erhält, ist die andere unbestrittene harte Zahl: 2,4 ppm (= 5 GtC), das sind 1,6 ppm (= 3,4 GtC) mehr als die 0,8 ppm im Jahr 1969. Ozean und Land sind also für den Erhalt des Saldos von 14,2 GtC verantwortlich.

Aus der Literatur lässt sich ableiten, dass 3 GtC vermutlich vom Land in Form von neuer Biomasse aufgenommen werden (die Photosynthese ist schließlich nicht kohlenstoffneutral) und weitere 3 GtC über Diffusion vom Ozean. Es wird auch angenommen, dass diese Zahlen 1969 halb so groß waren; 1,5 und 1,5 GtC. Es bleiben also etwa 11,2 GtC unberücksichtigt.

Daraus lässt sich folgern, dass die zusätzliche CO<sub>2</sub>-Quelle, die durch die Erwärmung aus der Bodenatmung (der alten Biomasse) stammt, einerseits durch eine erhöhte Photosynthese und andererseits durch eine stärkere Diffusion in die Ozeane durch neue Biomasse absorbiert werden muss. In Anbetracht der großen Unsicherheiten bei all diesen Prozessen ist die nur auf menschliche Emissionen bezogene Kohlenstoffhaushaltsgrafik – die in der Literatur regelmäßig dargestellt wird (siehe mein Teil 1) – eine irreführende Vereinfachung der CO<sub>2</sub>-Flüsse.

Ref. 1. Carbon Dioxide Fertilization Greening Earth.

<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/carbon-dioxide-fertilization-greening-earth>

Ref. 2. Yadugiri V Tiruvaimozhi, et al. 2019. Soil respiration in a tropical montane grassland ecosystem is largely heterotroph-driven and increases under simulated warming. <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/501155v2.full>

Übersetzt von Chris Frey EIKE