

Kohlenstoff-Kreislauf

written by Chris Frey | 18. Juni 2021

von Clyde Spencer

Introduction

Das Konzept von Genauigkeit und Präzision ist wichtig für die Analyse des Kohlenstoffkreislaufs. Um das Hintergrundproblem der Genauigkeit und der signifikanten Zahlen anzusprechen, möchte ich ein Beispiel anführen.

Nehmen wir an, dass man den Wert seines Gesamtvermögens ermitteln möchte. OK, das scheint einfach genug zu sein. Für die meisten Menschen der Mittelschicht ist ihr größter Vermögenswert das Haus, das sie „besitzen“. Doch was ist das Haus wert? Wie viel Geld könnten Sie dafür bekommen, falls Sie Lösegeld für Ihr treues Backenhörnchen Alvin aufbringen müssten? Nun, das hängt unter anderem davon ab, wie sehr Sie den Verkauf anstreben, wie hoch die aktuellen Kreditzinsen sind und wie die Jahreszeit ist. Im Sommer verkaufen sich Häuser normalerweise schneller. Es stellt sich also heraus, dass es nicht nur eine Zahl gibt, die den Wert Ihres Hauses repräsentiert. Man kann eine Reihe von Werten zuordnen, die ein Worst-Case-Szenario in einem Extrem darstellen, bis hin zur Intervention eines Engels, der Ihr Haus aus irgendeinem emotionalen Grund zu jedem vernünftigen Preis kaufen möchte. Man kann auf das Beste hoffen, aber wahrscheinlich wird der Verkaufspreis irgendwo in der Mitte des Bereichs liegen, was eine große Spanne sein kann. Wenn ähnliche Häuser in Ihrer Gegend unter ähnlichen Marktbedingungen für etwa 300.000 \$ verkauft wurden, dann könnte es vernünftig sein, einen Wert von 300.000 \$ \pm 30.000 \$ zuzuweisen, was einer Spanne von etwa \pm 10 % entspricht. Das heißt, man kann nicht **genau** sagen, was das Haus wert ist.

Wir könnten eine ähnliche Übung mit Ihren anderen Vermögenswerten durchführen, wie z. B. Auto(s), Skiboot, Münzsammlung, usw. Die Situation ist jedoch dieselbe, wobei Sie bestenfalls eine Bandbreite von Werten schätzen können, die Sie für Ihre Besitztümer erhalten könnten.

Sie ziehen Ihren monatlichen Kontoauszug heraus und, wie Sie es erwartet hatten, sagt Ihnen die Bank genau, wie viel Geld Sie am Ende des letzten Monats auf Ihrem Girokonto und Ihrem Sparkonto haben (oder hatten!). In Anbetracht der Tatsache, dass Sie möglicherweise keine Zinsen auf Ihr Girokonto erhalten und Sie den Betrag kennen sollten, über den Sie Schecks ausgestellt haben, wissen Sie tatsächlich mit hoher Sicherheit genau, wie viel Geld Sie auf Ihrem Girokonto haben! Sagen wir, es sind \$5.000,01; Sie haben letzten Monat tatsächlich ein wenig Zinsen bekommen!

Ähnlich verhält es sich mit Ihren Ersparnissen. Die monatlichen

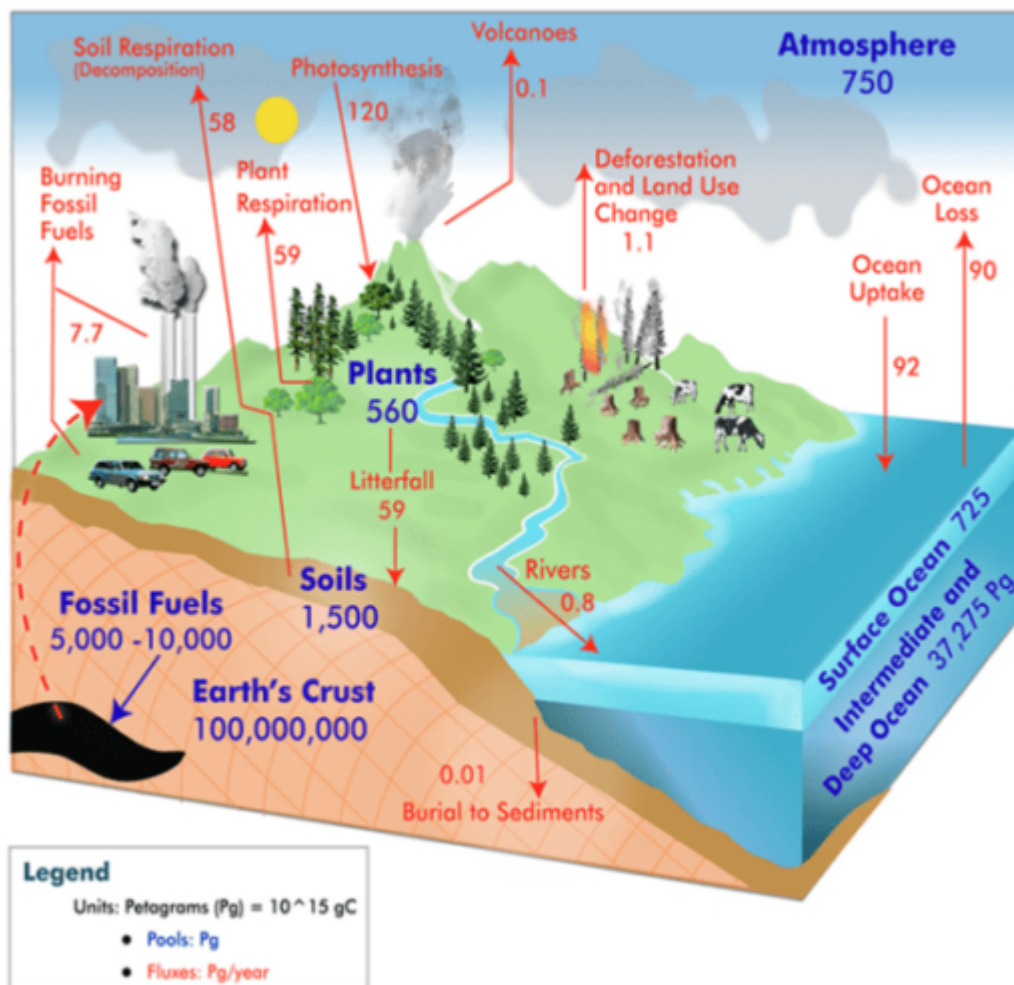
Änderungen sind bei den aktuellen Zinssätzen verschwindend gering, daher können Sie, wahrscheinlich auf den Cent genau, schätzen, wie viel Geld sich auf Ihren Ersparnissen befindet. Sagen wir, es sind \$500,49; Ihre liquiden Mittel betragen also \$5.500,50.

Allerdings ist das Einzige, was Sie genau wissen, das, was auf Ihrem Bankkonto liegt! Und das ist nur ein kleiner Bruchteil Ihres Gesamtvermögens und viel weniger als der Wertbereich Ihrer materiellen Besitztümer. Das ist wichtig, wenn man bedenkt, wie gut wir den Kohlenstoffkreislauf verstehen, denn was auf Ihrem Bankkonto ist, ist analog zu den anthropogenen CO₂-Emissionen. Lassen Sie mich das etwas konkreter illustrieren.

Vielleicht möchten Sie einige Dinge lesen, die ich zuvor zu den Themen Genauigkeit und Präzision geschrieben habe.

Kohlenstoff-Kreislauf

Global Carbon Cycle



Copyright 2010 GLOBE Carbon Cycle Project, a collaborative project between the University of New Hampshire, Charles University and the GLOBE Program Office.
 Data Sources: Adapted from Houghton, R.A. Balancing the Global Carbon Budget. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 007.35.313-347, updated emissions values are from the Global Carbon Project: Carbon Budget 2009.

Abbildung 1: der globale Kohlenstoff-Kreislauf. Quelle

Die obige Grafik (Abb. 1) wurde erstellt, um zu veranschaulichen und zu quantifizieren, was als Kohlenstoffkreislauf bezeichnet wird. Es ist die Beziehung zwischen Quellen und Senken von Kohlenstoff, hauptsächlich Kohlendioxid. Sie veranschaulicht die Pools, also die festen Kohlenstoffreservoirs, und die jährliche Austauschrate zwischen Quellen und Senken, die Flüsse genannt werden.

Diese häufig gezeigte Grafik des Kohlenstoffkreislaufs lässt viele anthropogene Kohlenstoffquellen aus, wie ich hier ausführlich dargestellt habe. Sie scheint sich nur auf fossile Brennstoffquellen zu beziehen. Daher kann der anthropogene Beitrag größer sein. Ich werde jedoch mit dieser Illustration arbeiten, um einen Punkt zu machen.

Lassen Sie uns nun einen detaillierten Blick auf die Zahlen in der Grafik werfen. Der jährliche Fluss von Kohlenstoff in die Atmosphäre ist die Summe der folgenden Werte:

Burning Fossil Fuels	7.7 ±0.05 pg	7.7 ±0.05 pg
Soil Respiration	58. ±0.5 "	
Plant Respiration	59. ±0.5 "	
Volcanoes	0.1 ±0.05 "	
Deforestation	1.1 ±0.05 "	<1.1 ±0.05 "
Ocean Loss	90. ±0.5 "	
Total	216. ±2 pg	Anthropogenic Total <8.8 ±0.1 pg

Die Grundeinheit ist Petagramm (pg) von Kohlenstoff, oder 10^{15} Gramm Kohlenstoff.

(Beachten Sie, dass der „Ozeanverlust“ nicht explizit mit 2 signifikanten Ziffern angegeben ist, aber da dies bei der „Ozeanaufnahme“ der Fall ist, werde ich ihnen den Vorteil des Zweifels geben und annehmen, dass sie einfach unvorsichtig waren. Die Unsicherheits-Schätzungen werden durch die angezeigten signifikanten Zahlen impliziert).

Wie viel Prozent des jährlichen Beitrags von Kohlenstoff in die Atmosphäre ist anthropogen? Es ist, $<8,8 (\pm 0,1) / 216 (\pm 2)$, oder $<4,1\%$. Ein allgemein behaupteter Wert ist etwa 3%. Die größte Unsicherheit besteht darin, wie viel von der Kategorie „Entwaldung“ tatsächlich anthropogen ist. Der Punkt ist, dass wir die Summe mit mindestens einer Größenordnung weniger Genauigkeit kennen als die anthropogene Komponente.

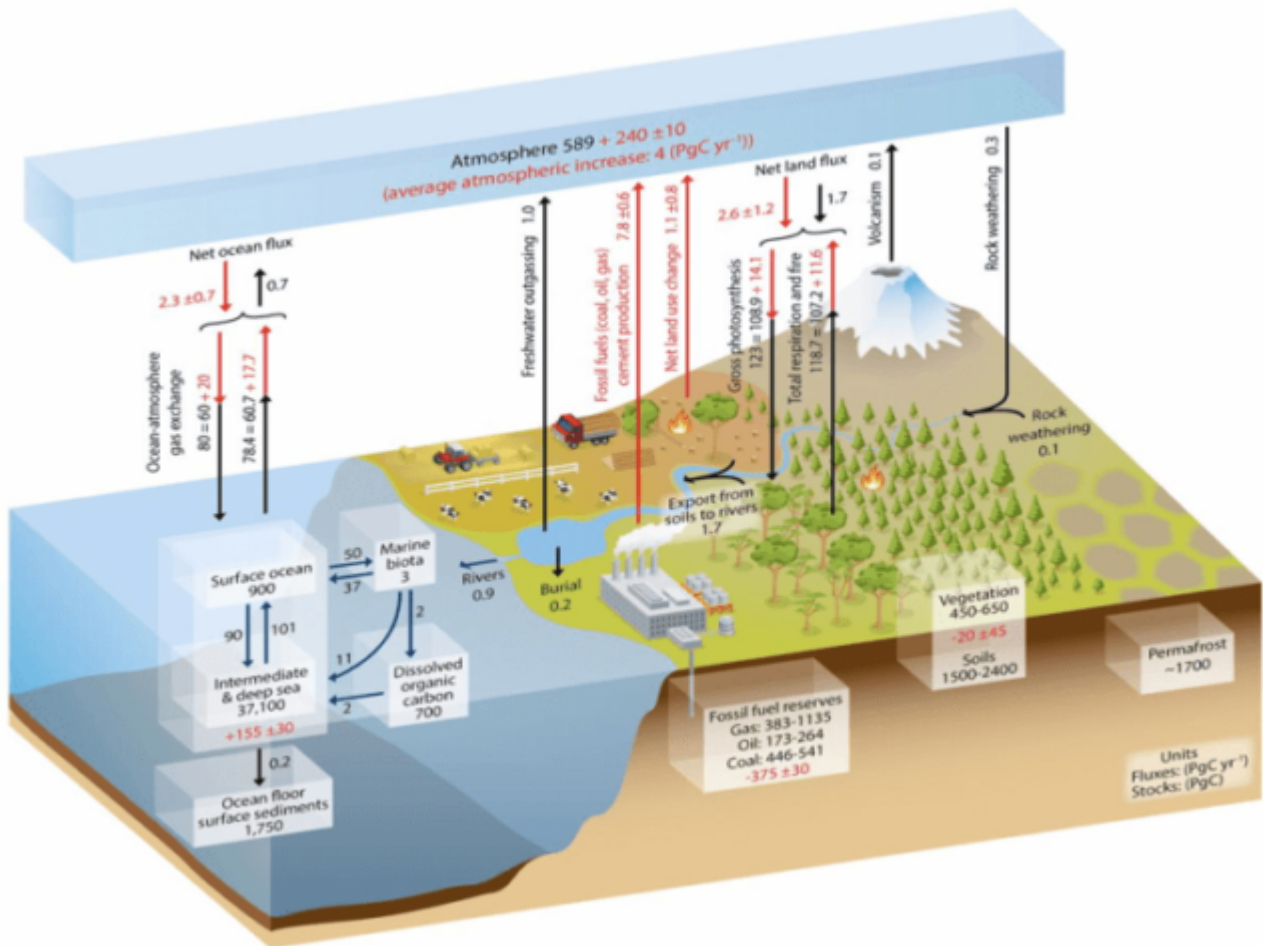


Abbildung 2: Schätzungen alternativer Kohlenstoff-Flüsse. Quelle

Es gibt ein altes Sprichwort: Wenn ein Mann nur eine Uhr besitzt, weiß er immer, wie spät es ist. Wenn ein Mann jedoch zwei Uhren besitzt, ist er sich nie sicher, wie spät es ist. Das trifft hier zu, wie ich an einem weiteren Beispiel zeige.

Diese Grafik, (Abb. 2), ist noch problematischer. Sie zeigt oben einen jährlichen Anstieg von 240 ± 10 pg. Eine andere Art der Darstellung ist $240 \text{ pg} \pm 4\%$. Wenn ich die angezeigten Werte in eine Tabelle einfüge, kann ich aber nur 207 ± 2 pg ausweisen! Wir sind nun mit einem Problem der Genauigkeit (Übereinstimmung zwischen den Schätzungen) sowie der Präzision (die Anzahl der signifikanten Zahlen) konfrontiert.

Wie ich es oben für Abb. 1 getan habe, folgt nun eine Tabelle mit den Schätzungen aus Abb. 2:

Fossil fuels and cement production	7.8 ±0.6 pg	7.8 ±0.6 pg
Soil and Plant respiration	118.7 ±0.05 "	
Volcanoes	0.1 ±0.05 "	
Land use change	1.1 ±0.8 "	1.1 ±0.8 "
Water outgassing	79.4 ±0.05 "	
Total	207. ±2 pg	Anthropogenic Total 9. ±1 pg

Wie dem auch sei, in diesem Fall ist der anthropogene Anteil 9 (±1) / 207 (±2), oder ≈4.%. Nehmen wir an, dass der angegebene Kohlenstofffluss (240 pg) und die damit verbundene Unsicherheit (±10 pg) korrekt sind und ich entweder etwas übersehen habe oder der Künstler, der die Illustration erstellt hat, etwas in der Illustration vergessen hat. Die Unsicherheit (±10) ist gleich oder größer als der geschätzte gesamte anthropogene Beitrag, 9 ±1 pg.

Interessant ist nun, dass der durchschnittliche anthropogene Fluss 9 ±1 pg/Jahr beträgt, während die Schätzung für den Anstieg des Kohlenstoffs in der Atmosphäre bei etwa 4 pg/Jahr liegt (keine Unsicherheit angegeben, ±0,5 impliziert.). Mit anderen Worten: Die Zunahme von CO₂ in der Atmosphäre entspricht etwa 50% der jährlichen anthropogenen Emissionen. Sind wir sicher, dass wir die Senken und Quellen gut genug verstehen, um sicher zu sein, dass der Anstieg in der Atmosphäre zur Hälfte anthropogen ist? Wie unterscheiden die Senken den anthropogenen Kohlenstoff von anderen Quellen?

Es scheint also, dass eine Menge, die etwa die Hälfte des anthropogenen Flusses ausmacht, im Ozean landet. Tatsächlich wird ein Teil des CO₂ zur Bildung von neuem Holz verwendet und ein anderer Teil unterstützt das Wachstum von Phytoplankton und endet als Sequestrierung in den Tiefen der Ozeane.

Wenn, wie ich angedeutet habe, die Korrelation zwischen anthropogenem CO₂ und der steigenden Konzentration in der Luft kein Beweis für den Ursprung ist, dann muss ein anderer Indikator gesucht werden. Das ist in der Regel die Veränderung des Verhältnisses von ¹³C- und ¹²C-Isotopen. Das liegt daran, dass Pflanzen dazu neigen, das leichtere und häufigere ¹²C-Isotop zu verwenden. Daher wird ein relativer Anstieg von ¹²C üblicherweise auf seine Freisetzung aus fossilen Brennstoffen zurückgeführt. Daran ist auf den ersten Blick nichts auszusetzen. Allerdings können auch andere Dinge das Verhältnis beeinflussen – insbesondere die temperaturbedingte Ausgasung von Wasser begünstigt das

leichtere ^{12}C -Isotop, da es weniger Energie benötigt, um das leichtere Isotop freizusetzen. Auch Bakterien, die Laubstreu und anderen Pflanzenreste zersetzen, arbeiten mit ^{12}C -reichem Material. Und schließlich wird der Auftrieb von Tiefsee-Wasser ^{12}C -reiches Wasser an die Oberfläche bringen, wo es ausgasen wird.

Ich habe bereits früher gezeigt, dass die obige Bilanzierung der anthropogenen CO_2 -Emissionen wahrscheinlich eine Untererfassung ist. Für die Zwecke dieser Diskussion schrieb ich: „Ich werde ‚anthropogen‘ als jede Produktion definieren, die vom Menschen beeinflusst oder direkt von Kohlenstoffquellen erzeugt wird, die für kurze oder lange Zeiträume abgeschieden wurden.“

Die Frage des Kohlenstoff-„Recyclings“ ist eine Frage der Zeitskala. Letztlich wird auf der Erde alles recycelt. Selbst Kohleflöze werden irgendwann durch Erosion freigelegt und verbrennen oder oxidieren langsam, wobei Kohlendioxid freigesetzt wird. In Abwesenheit des Menschen würden alle Oxidationsprozesse weitergehen, aber mit einer langsameren Rate als die, die der Mensch verursacht. Es ist eine Frage des Handelns! Meine ursprüngliche Definition enthielt den Vorbehalt: „In dem Maße, in dem Biomasse zum Heizen und Kochen verbrannt wird, und zwar in einem größeren Ausmaß, als sie nachwächst, gibt es einen Nettobeitrag von CO_2 in die Atmosphäre, der an die Bevölkerung gebunden ist. Wenn alte Bäume abgeholzt werden, um Platz für die expandierende Landwirtschaft zu schaffen, dann gibt es einen Nettobeitrag von CO_2 , der wiederum an die expandierende Bevölkerung gebunden ist. Der wichtige Punkt, der anthropogen von „natürlich“ unterscheidet, ist der sich ändernde Fluss, der durch menschliche Aktivitäten erzeugt wird, wahrscheinlich am besten auf einer jährlichen Skala gemessen.“

Summary

Die statistische Korrelation zwischen zwei monoton ansteigenden Eigenschaften wird positiv sein, auch wenn sie nicht miteinander verbunden sind. Daher kann die Korrelation unecht sein. Die Schätzungen für die anthropogenen Kohlendioxid-Emissionen sind geringer als die Unsicherheit des gesamten Kohlenstoffflusses in die Atmosphäre in einem Beispiel, und der jährliche Anstieg in der Atmosphäre beträgt nur etwa die Hälfte der Schätzungen. Unter der Annahme, dass die Schätzungen für den anthropogenen Kohlendioxidfluss tatsächlich gültig sind, liefert er immer noch nur etwa 4 % des gesamten Flusses, der für die Erhöhung des atmosphärischen Pools zur Verfügung steht, und kann daher nicht für 96 % des Anstiegs verantwortlich sein.

Der Anstieg von ^{12}C in der Atmosphäre ist meiner Meinung nach ein schwacher Beweis dafür, dass der jährliche Anstieg nur durch fossile Brennstoffe angetrieben wird. Die Atmosphäre kann „anthropogenes“ Kohlendioxid nicht von natürlichem Kohlendioxid unterscheiden. Es scheint unwahrscheinlich, dass eine Quelle, die nur etwa 4 % des Gesamtflusses ausmacht, das System antreibt. Die Ozeane binden den

größten Teil des Kohlenstoffs. Man würde erwarten, dass eine Erwärmung der Ozeane (durch welchen Antrieb auch immer) die Rate der Ausgasung in den mittleren Breiten erhöhen und die Rate der Entnahme in den hohen Breiten verringern würde. Es scheint mir vernünftiger, dass es in einer Welt mit sich erwärmenden Ozeanen zu einer Verschiebung der relativen Mengen an Kohlenstoff in den Ozeanen und der Atmosphäre kommen würde. Das wäre auch dann der Fall, wenn es keinen anthropogenen Kohlenstoff gäbe.

Die Wissenschaft ist definitiv **noch nicht settled!**

Ich habe keine strenge Analyse der Unsicherheit vorgenommen, weil, wie so oft, die tatsächlichen Unsicherheiten nicht für alle Komponenten des Kohlenstoffkreislaufs angegeben werden.

In einem Folgeartikel werde ich eine detaillierte Untersuchung der atmosphärischen CO₂-Konzentration über die letzten 30 Jahre vornehmen. Dadurch soll deutlicher werden, warum die Unsicherheiten bei den Kohlenstoffflüssen im Input und der relativ geringe Beitrag des Menschen wichtig sind, um die Behauptung in Frage zu stellen, dass fossile Brennstoffe für das Wachstum der CO₂-Konzentrationen verantwortlich sind. Dies ist wichtig, weil die gängige Annahme ist, dass eine Reduzierung der anthropogenen CO₂-Emissionen die globale Erwärmung stoppen wird. Das ist wahrscheinlich nicht der Fall!

Link: <https://wattsupwiththat.com/2021/06/07/carbon-cycle/>

Übersetzt von Chris Frey EIKE