



Rückkopplung und Kohlenstoffkreislauf: Das komplizierte Zusammenspiel im Klimasystem

Alle Artikel unserer Serie über den Klimawandel findet ihr unter diesem Link ...

Zum Abschluss der ersten 6 Artikel über den Klimawandel wollen wir heute noch einige Grundlagen ansprechen, die man kennen muss, um die Mechanismen in unserer Atmosphäre und damit auch die Mechanismen hinter dem Klimawandel verstehen zu können.

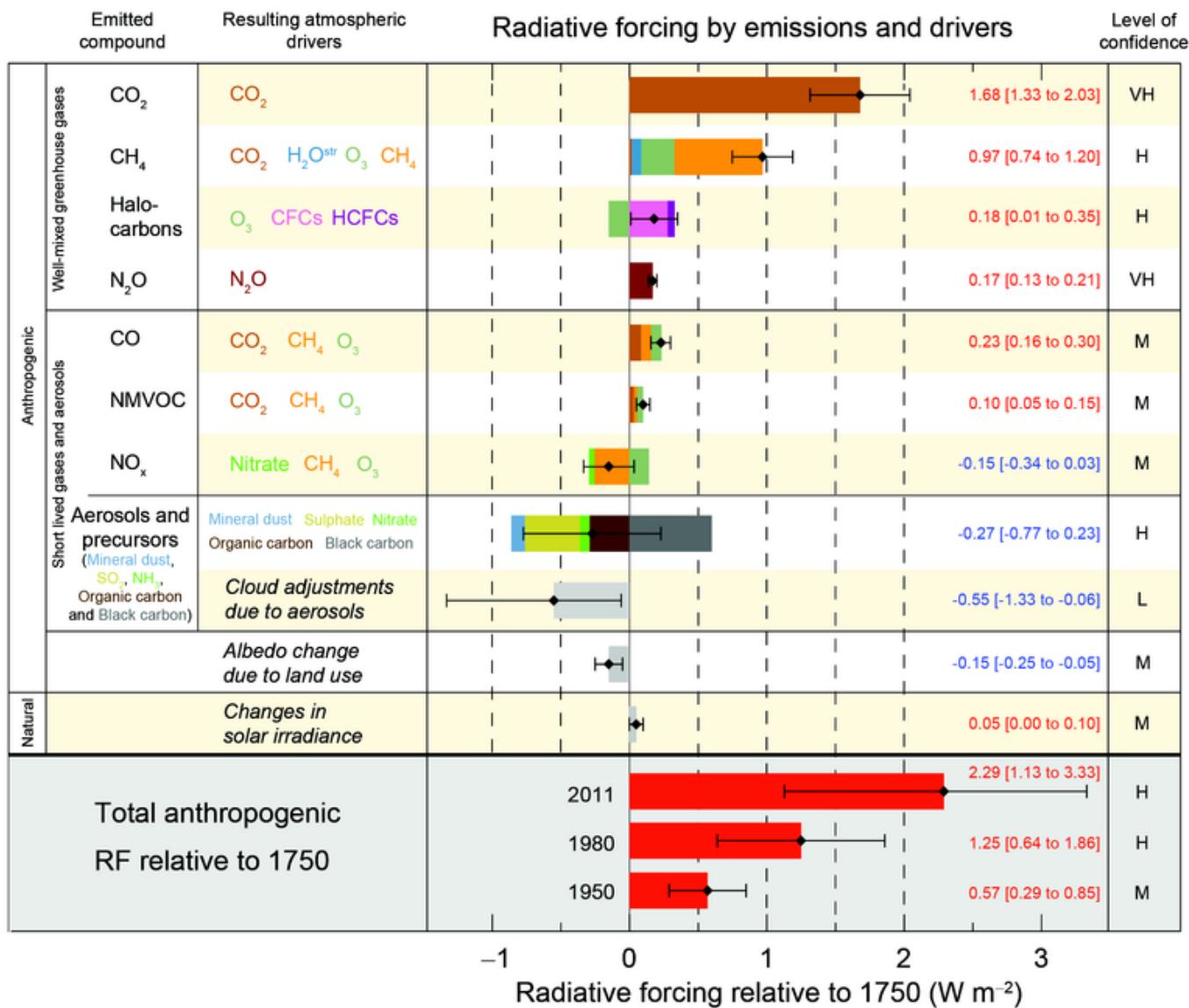
In unserem ersten Artikel haben wir über einige der natürlichen Kräfte gesprochen, zum Beispiel Vulkanausbrüche die Partikel in die Atmosphäre blasen, die einerseits einen Teil des einfallenden Sonnenlichts blockieren und andererseits unser Klima auf die gleiche Weise beeinflussen können, wie fahrende Autos, die tonnenweise CO₂ in die Atmosphäre emittieren.

Woher wissen wir also, welche Veränderungen tatsächlich den beobachteten Klimawandel verursachen?

Dafür ist diese Abbildung aus dem IPCC*-Bericht hilfreich, die die relativen Auswirkungen verschiedener natürlicher und menschlicher Einflüsse auf das Klima der Erde zusammenfasst.



Rückkopplung und Kohlenstoffkreislauf: Das komplizierte Zusammenspiel im Klimasystem



Wie kann man dieses Diagramm lesen? Nun, es gibt Erwärmungsfaktoren und kühlende Faktoren, sowohl natürliche als auch menschliche. Zum Beispiel ist der Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe ein erwärmender Faktor. Andererseits bilden sich durch die Verschmutzung mit Feinstäuben, die in die Atmosphäre gelangen, Aerosole, die einen Teil des Sonnenlichts zurück ins All reflektieren. Letzteres ist auch eine vom Menschen verursachte Umweltbelastung, die hinsichtlich des Klimawandels aber einen kühlenden Faktor darstellt, der die Erwärmung durch Treibhausgase ein wenig ausgleicht. Ein natürlicher Faktor sind Vulkanausbrüche, die einen Staubmantel in hohen Luftsichten erzeugen und damit die Erdoberfläche abkühlen können, und Veränderungen in der Sonneneinstrahlung. Wenn die Sonne heller wird, ist das ein



Rückkopplung und Kohlenstoffkreislauf: Das komplizierte Zusammenspiel im Klimasystem

wärmender Einfluss auf die Erdoberfläche. Wenn die Sonne weniger hell ist, hat das einen kühlenden Einfluss auf die Oberfläche.

Das alles zusammen nennen die Wissenschaftler Strahlungsantriebe, und einige von ihnen sind wärmende und einige von ihnen sind kühlende Faktoren.

Was wir aber aus dieser Grafik mitnehmen können ist, dass die anthropogenen Einflüsse, also die menschliche Beeinflussung unseres Klimas, der dominierende Faktor ist. Und er wirkt hauptsächlich in Richtung Erwärmung.



Emissionen von Feinstäuben und Aerosolen können auch einen kühlenden Einfluss auf unser Klima haben.

Neben den Strahlungsantrieben gibt es als zweite wichtige Grundlage der Klimaveränderungen die sogenannten Rückkopplungsmechanismen.

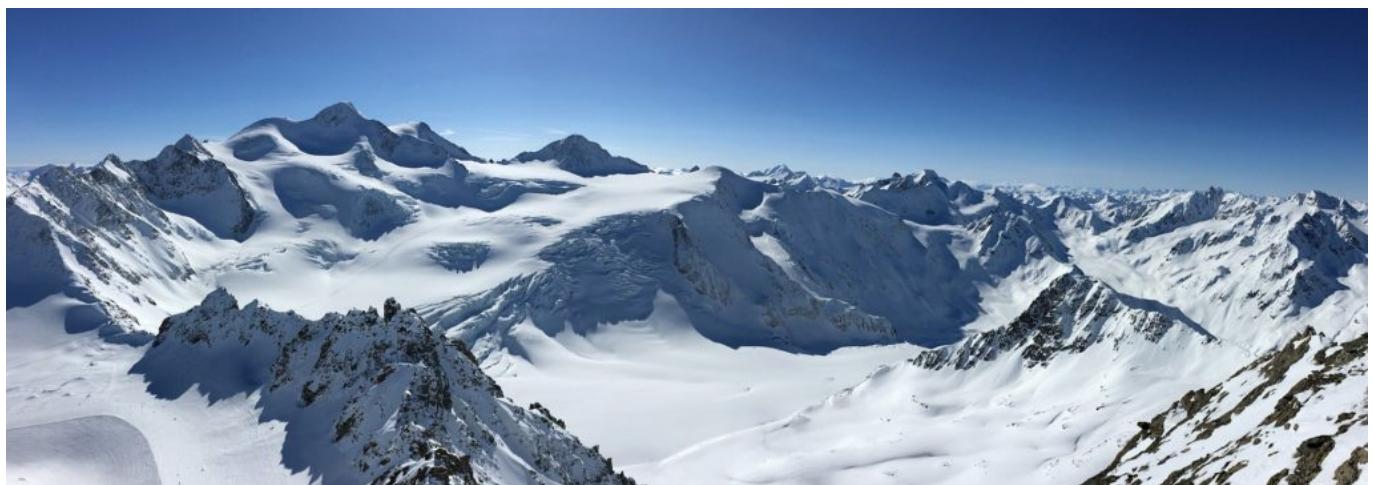
Ohne den Einfluss dieser Rückkopplungsmechanismen wäre die Reaktion des Klimas auf die als Strahlungsantriebe bezeichneten Erwärmungs- oder kühlenden Faktoren viel schwächer.



Rückkopplung und Kohlenstoffkreislauf: Das komplizierte Zusammenspiel im Klimasystem

Rückkopplungsmechanismen sind Mechanismen innerhalb des Klimasystems, die entweder eine negative Rückkopplung abschwächen oder eine positive Rückkopplung verstärken.

Eine positive Rückkopplung ist eine, die die Wirkung der Einflüsse verstärkt. Ein Beispiel dafür ist die Wasserdampf-Rückkopplung. Eine sich erwärmende Atmosphäre kann größere Mengen an Wasserdampf und Feuchtigkeit aufnehmen. Da Wasserdampf aber, wie wir bereits gesehen haben, ein starkes Treibhausgas ist, führt dies zu einer weiteren Erwärmung – eine Spirale beginnt. **Dies ist eine der wichtigsten positiven Rückkopplungen im Klimasystem der Erde.**



Eis und Schnee der Gletscher reflektieren die Sonneneinstrahlung direkt zurück in den Weltraum

Ein weiteres Beispiel ist die Eis Albedo-Rückkopplung. Wenn sich die Oberfläche der Erde erwärmt, tauen Eis und Schnee immer stärker ab, was zu weniger Reflexion und größerer Absorption der einfallenden kurzwelligen Sonnenstrahlung führt, eine weitere wichtige positive Rückkopplung.



Rückkopplung und Kohlenstoffkreislauf: Das komplizierte Zusammenspiel im Klimasystem



Wo Eis und Schnee abgetaut sind, erwärmt sich die Erdoberfläche schneller und stärker.

Je wärmer die Erdoberfläche, desto weniger Eis und Schnee reflektieren die Sonneneinstrahlung – und die einfallende Strahlung kann die Erdoberfläche stärker erwärmen. Auch hier setzt sich eine Art Spirale in Gang...



Rückkopplung und Kohlenstoffkreislauf: Das komplizierte Zusammenspiel im Klimasystem



Dann gibt es noch die Strahlungsrückkopplung der Wolken. Hier gibt es, auch das haben wir schon gesehen, verschiedene konkurrierende Effekte, die sowohl positiv als auch negativ sein können. Zum Beispiel, wenn eine wärmere Atmosphäre mehr niedrige Wolken produziert, ist die primäre Auswirkung dieser größeren Wolkendecke, dass mehr Sonnenstrahlung ins All reflektiert wird. **Ein kühler Effekt also, der eine negative Rückkopplung darstellt.** Auf der anderen Seite, wenn eine wärmere Atmosphäre mehr hohe Wolken produziert, wie z.B. Zirruswolken, besteht die primäre Auswirkung dieser dünnen, hohen Wolken darin, einen Großteil der ausgehenden langwelligen terrestrischen Strahlung abzufangen während sie für die einfallende kurzwellige Sonnenstrahlung weitgehend transparent bleiben – und dadurch den Treibhauseffekt zu verstärken. **Ein wärmender Effekt also, der eine positive Rückkopplung darstellt.**

Der Nettoeffekt all dieser Rückkopplungen ist laut IPCC insgesamt positiv und führt dazu, die Erwärmung der Erdoberfläche zu erhöhen.*

Und warum ist das alles so wichtig?

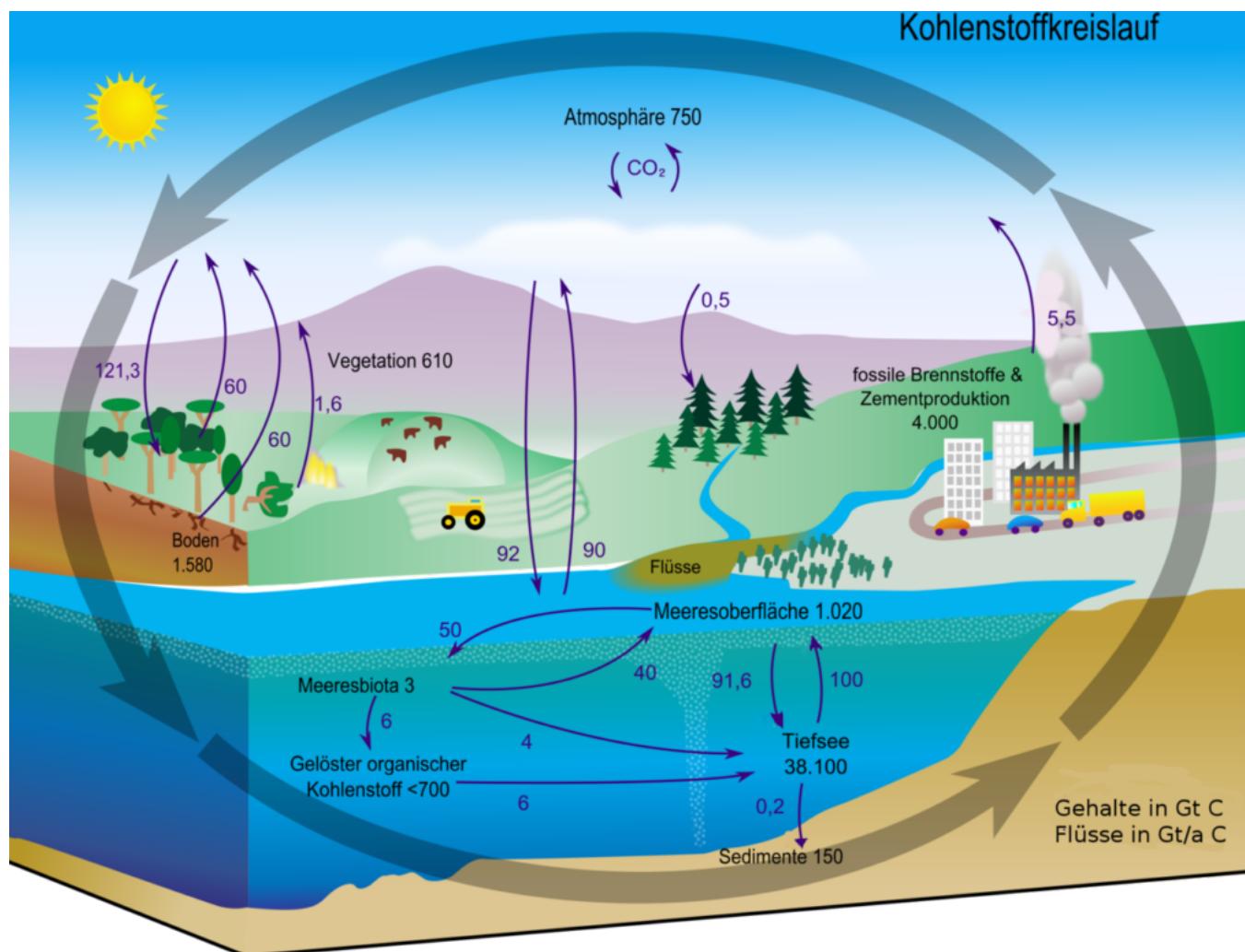


Die Klimawissenschaft befasst sich mit der Frage, wie viel Erwärmung passiert, wenn man die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre erhöht. Jedoch, wie wir gesehen haben: Wie viel Erwärmung passiert hängt eben nicht nur von der Erhöhung der Treibhausgaskonzentration ab, sondern auch von all den Rückkopplungsmechanismen, die wir gerade betrachtet haben.

Nun müssen wir noch über die Rolle des sogenannten Kohlenstoffkreislaufs sprechen. In der Vergangenheit haben die Klimamodellierer Experimente durchgeführt, bei denen sie die Konzentration von Treibhausgasen in ihren Modellen erhöhten und dann die erwartete Erwärmung berechneten. Aber diese Konstruktion ist künstlich und ungenau, weil Aktivitäten wie das Verbrennen fossiler Brennstoffe nicht direkt die Konzentration von Kohlendioxid oder anderen Treibhausgasen beeinflussen, sondern sie beeinflussen stattdessen die atmosphärischen Emissionen, die mit dem Klimasystem interagieren.



Rückkopplung und Kohlenstoffkreislauf: Das komplizierte Zusammenspiel im Klimasystem



Wie wir hier sehen können, interagieren der Ozean, die terrestrische Biosphäre und die marine Biosphäre - das Leben auf der Erde - alle mit der Atmosphäre im so genannten globalen Kohlenstoffkreislauf.

Für unsere Zwecke ist wichtig zu wissen, dass, wenn wir Kohlendioxid in die Atmosphäre einbringen indem wir fossile Brennstoffe verbrennen, zumindest ein Teil dieses Kohlendioxids vom Klimasystem absorbiert wird, entweder durch Bäume und Wälder an Land oder durch Meereslebewesen wie Plankton und Algen im Ozean. Und es stellt sich heraus, dass der Ozean, die marine Biosphäre und die terrestrische Biosphäre bisher fast die Hälfte des CO₂ absorbiert haben, das wir in die Atmosphäre abgegeben haben. Das führt dazu, dass die CO₂ Konzentrationen nicht so schnell gestiegen sind als es der Fall gewesen wäre, wenn das gesamte Kohlendioxid in der Atmosphäre verblieben wäre.



Rückkopplung und Kohlenstoffkreislauf: Das komplizierte Zusammenspiel im Klimasystem

Aber, und das ist der Haken an der Sache, die Aufnahme des Kohlenstoffs im Ozean und an Land bleibt nicht unbedingt konstant. **Es könnte eine Sättigung eintreten und Ozeane und Wälder könnten irgendwann nicht mehr in der Lage sein, weiter die bisherige Menge an Kohlenstoff aufzunehmen.** Und wenn das passiert, dann wird die Anreicherung der Atmosphäre mit Kohlenstoff plötzlich in die Höhe schnellen.

Ausserdem schieben wir noch ein weiteres grosses Risiko vor uns her: **Wenn die Permafrost-Böden tauen, wenn wir die eisigen Tiefen der Weltmeere erwärmen, dann wird das Methan, das das dort eingeschlossen ist, in die Atmosphäre entweichen.**



In Permafrost-Böden und den eisigen Tiefen der Weltmeere sind riesige Mengen Methan eingeschlossen, die bei Erwärmung entweichen werden.

Und Methan ist ein noch stärkeres Treibhausgas als Kohlendioxid. Wenn das also passiert, **wenn die Erwärmung der Erdoberfläche die Freisetzung von grossen Mengen Methan auslöst, dann wird das den Treibhauseffekt dramatisch verstärken.**



Rückkopplung und Kohlenstoffkreislauf: Das komplizierte Zusammenspiel im Klimasystem

Das also sind die so genannten Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen, bei denen CO₂ oder Methan durch die Erwärmung des Klimasystems selbst freigesetzt wird, was den Treibhauseffekt verstärkt und die Erwärmung weiter in die Höhe treibt.

Die Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen sind allerdings noch nicht ausreichend erforscht. Es gibt immer noch große Unsicherheit darüber, wie viel von diesem Kohlenstoff freigesetzt und in die Atmosphäre zurückgeführt werden könnte, wenn es zu einer zusätzlichen Erderwärmung kommt.

Jedoch – und das haben wir schon in früheren Artikeln betont – Ungewissheit ist kein Grund zur Freude, Ungewissheit ist durchaus nicht unser Freund, denn die Klimawissenschaft stellt zunehmend fest, dass alle diese Mechanismen eine weitaus stärkere Erwärmung ermöglichen, als man es in den vergangenen Jahrzehnten angenommen und berechnet hat.

Am kommenden Mittwoch werden wir hier eine Zusammenfassung der ersten 6 Artikeln geben, die kurz und knackig die nicht ganz einfachen Zusammenhänge hinter der Erderwärmung und dem Klimawandel schildern soll.

Ausserdem werden wir für interessierte Leser, die ihr Wissen noch weiter vertiefen möchten, eine Liste wissenschaftlicher Veröffentlichungen zu den bisher angesprochenen Problematiken und Informationen liefern.

Denn: Unwissen und Halbwissen werden uns nicht helfen, der Klimakrise, die bereits in vollem Gang ist, entgegen zu wirken.

In diesem Sinne: Sonnige Grüsse aus dem (fast zu heissen) Süden Frankreichs,

Andreas M. Brucker, Redaktionsleitung Nachrichten.fr

Hier geht es zu unserem nächsten Artikel: Klimawandel: Resumé der ersten Artikelreihe

*IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ist ein Gremium der Vereinten Nationen, das die wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Klimawandel bewertet.