

STRAHLUNGSANTRIEBE DER KLIMATREIBER

Natürlicher und anthropogen verursachter Treibhauseffekt

Unter Energiebilanz Teil 3: Atmosphäre haben wir gesehen, dass die Treibhausgase die von der Erde abgegebene, langwellige Infrarotstrahlung absorbieren und so verhindern, dass die Wärme ungehindert in das Weltall entweicht. Durch diesen Treibhauseffekt erwärmt sich die Erde um 33°C. Nur dadurch liegt Wasser auf unserem Planeten in flüssiger Form vor, wodurch das Leben überhaupt erst ermöglicht wird.

Hauptverantwortlich für den natürlichen Treibhauseffekt sind in absteigender Wichtigkeit Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Ozon, Distickstoffmonoxid (Lachgas) und Methan. Wasserdampf ist mit Abstand das wichtigste Treibhausgas. (siehe Zusatzinformation Wasser)

Zusatzinformation Wasser:

Etwa 60% des natürlichen Treibhauseffektes sind der Wirkung des Wasserdampfes zuzuschreiben. Wasseroberflächen und der Wasserdampfanteil der Atmosphäre stehen im thermischen Gleichgewicht. Auf diese Weise stellt sich der Wasserdampfgehalt in der Luft in Abhängigkeit von Luftdruck und Temperatur in Wechselwirkung mit den Wasserflächen automatisch ein. Allerdings ist die Aufnahmekapazität der Luft für Wasserdampf begrenzt. Mit zunehmender Temperatur steigt aber auch die maximal von der Luft aufzunehmende Wasserdampfmenge an. Nimmt Luft Wasserdampf auf, wird sie erstaunlicherweise leichter, da die Wassermoleküle schwerere Stickstoff- und Sauerstoffmoleküle aus dem Gasgemisch verdrängen. Feuchte Luft steigt aufgrund ihrer verminderten Dichte also auf. Die Verweildauer von Wasserdampf in der Atmosphäre ist mit etwa zehn Tagen sehr kurz.

In der Atmosphäre haben sich durch natürliche Prozesse bestimmte Konzentrationen der Treibhausgase eingestellt. Seit der Mensch in das industrielle Zeitalter eingetreten ist und Kohlenstoffdioxid und andere Treibhausgase emittiert, greift er durch seine Aktivitäten in dieses natürliche Gleichgewicht ein.

Der Einfluss des Menschen auf den Wasserdampfgehalt der Atmosphäre ist gering, aber die Konzentrationen der anderen natürlichen Treibhausgase hat der Mensch erhöht. Zusätzlich hat er andere Treibhausgase, die in der Natur gar nicht vorkommen, geschaffen und emittiert. Allerdings beeinflusst der Mensch den Klimawandel nicht nur über die Treibhausgase, sondern beispielsweise auch durch die Emission von Aerosolen oder die Veränderung von Landnutzungen. Bevor wir auf die verschiedenen Klimatreiber detailliert eingehen, müssen wir noch eine Frage klären:

Wie ist es möglich, zwischen dem natürlichen und dem anthropogenen (menschengemachten) Klimawandel zu unterscheiden?

Schließlich werden die wichtigsten Klimatreiber nicht nur vom Menschen beeinflusst, sondern auch durch natürliche Prozesse. Der IPCC wählt folgenden Ansatz zur Trennung der natürlichen von den anthropogenen Emissionen: Die mit der Nutzung fossiler Energieträger verbundene Industrialisierung begann in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts. Vor dieser Zeit ist ein menschlicher Einfluss auf das Klima sehr unwahrscheinlich. Aus diesem Grund vergleicht man die aktuelle Zusammensetzung der Atmosphäre mit der aus dem Jahre 1750.

Woher weiß man, wie die Atmosphäre im Jahr 1750 zusammengesetzt war?

Ist die Umgebung kalt und niederschlagsreich genug, bildet sich Jahr für Jahr eine neue Schneeschicht. Im zunächst frischen Schnee werden auch kleine Luftbläschen miteingeschlossen. Jede Schneeschicht dokumentiert auf diese Weise die Zusammensetzung der Atmosphäre zu der Zeit, als der Schnee fiel. Durch die Analyse von Eisbohrkernen können Wissenschaftler dann die Zusammensetzung der Atmosphäre in der Vergangenheit entschlüsseln.

Die verschiedenen Treiber, die unser Klima beeinflussen

Als Ergebnis der Strahlungs- bzw. Energiebilanz haben wir einen positiven Strahlungsantrieb erhalten. Die Erde strahlt also etwas weniger Energie ab, als sie erhält. Der Strahlungsantrieb liefert sozusagen das Endergebnis vorweg: Er fasst die Gesamtwirkung aller Faktoren zusammen, die einen Einfluss auf die Energiebilanz des Planeten haben.

Deshalb wollen wir uns zunächst nacheinander alle relevanten Faktoren und den von ihnen verursachten Strahlungsantrieb einzeln anschauen, bevor wir den resultierenden Strahlungsantrieb beziffern. Wie wir sehen werden, bewirken die meisten Treiber einen positiven Strahlungsantrieb, also eine erwärmende Wirkung. Es gibt aber auch Treiber, die einen negativen Strahlungsantrieb haben und somit abkühlend wirken.

Mancher Treiber, wie beispielsweise Ozon, wird vom Menschen gar nicht direkt emittiert. In diesem Fall werden die Emissionen der Vorläufersubstanzen betrachtet, aus denen der klimawirksame Treiber durch Reaktionen entsteht.

Für folgende Kategorien anthropogener Klimatreiber wird der Strahlungsantrieb berechnet:

- Gut durchmischte Treibhausgase
- Kurzlebige Gase und Aerosole
- Veränderung der Albedo

Zusätzlich gibt es eine Kategorie, die einen natürlichen Strahlungsantrieb untersucht: Die Änderung der Sonneneinstrahlung.

Anthropogene Strahlungsantriebe: Gut durchmischte Treibhausgase

Die in dieser Kategorie enthaltenen Treibhausgase leisten den größten anthropogenen Beitrag zum Klimawandel. Die gut durchmischten Treibhausgase sind so langlebig und stabil, dass sie sich gleichmäßig in der Atmosphäre verteilen können. Somit liegen sie global in einer relativ einheitlichen Konzentration vor.

Die Gruppe der gut durchmischten Treibhausgase (THG) umfasst:

- Kohlendioxid
- Methan
- Distickstoffmonoxid (Lachgas)
- Sonstige gut durchmischte Treibhausgase (Halogenkohlenwasserstoffe)

Um zu weiteren Informationen über die Treibhausgase zu gelangen, bitte einfach den jeweiligen Namen in der Aufzählung anklicken.

Im Abschnitt über Absorption von Treibhausgasen haben wir bereits gesehen, dass die Besonderheit der Treibhausgase darin liegt, mit der von der Erde ausgestrahlten Infrarotstrahlung wechselwirken zu können.

Trotz dieser gemeinsamen Eigenschaft ist Treibhausgas nicht gleich Treibhausgas. So unterscheiden sie sich beispielsweise durch ihre Absorptionsspektren.

Komplexer aufgebaute Treibhausmoleküle wirken in einem größeren Absorptionsbereich, da sie eine größere Anzahl verschiedener Energiezustände als einfacher aufgebaute Moleküle annehmen können. Sie können somit von einer größeren Anzahl von Photonen verschiedener Wellenlängen angeregt werden bzw. diese absorbieren.

Um die Wirksamkeit von Treibhausgasen vergleichbar machen zu können, reicht das Absorptionsspektrum aber nicht aus. Ein weiteres zu berücksichtigendes Kriterium ist die Verweildauer. Sie gibt an, wie lange ein Treibhausgas-Molekül in der Atmosphäre durchschnittlich verbleibt, bis es durch eine Reaktion oder einen anderen Prozess aus ihr entfernt wird. Mit zunehmender Verweildauer steigt auch die Klimaaktivität des Treibhausgases an, da es auch mehr Zeit hat, seine Wirkung zu entfalten.

Das so genannte Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP) fasst sowohl die Stärke der Wirkung, als auch die Verweildauer von Treibhausgasen zu einem Faktor zusammen. Es gibt Auskunft über die resultierende Gesamtwirkung in einem definierten Zeitraum (meist 100 Jahre) und wird auf die Referenzgröße Kohlendioxid bezogen. Nach Definition ist das Treibhauspotential von Kohlendioxid auf 1 festgelegt. Das GWP_{100} von Lachgas (N_2O) beträgt 265. Somit ist eine Tonne Lachgas (N_2O) 265-mal klimawirksamer als eine Tonne Kohlendioxid. Schwefelhexafluorid erreicht sogar ein GWP_{100} von 23.500, wird aber nur in geringen Mengen emittiert.

Um den resultierenden Strahlungsantrieb bezogen auf Kohlendioxid zu berechnen, muss das Treibhauspotential eines Klimagases mit seiner emittierten Masse multipliziert werden. Als Ergebnis erhält man dann Tonnen CO_2 -Äquivalente ($CO_2\text{-}\ddot{A}q$), also eine imaginäre Emissionsmenge Kohlendioxid, die das Treibhauspotential der verschiedenen Treibhausgase vergleichbar macht und hilft, ihre Bedeutung für den Klimawandel einzuordnen

Natürlicher Strahlungsantrieb - Änderungen der Sonneneinstrahlung

Die Erde umläuft die Sonne auf einer elliptischen Bahn. Der Abstand zur Sonne verändert sich im Laufe eines Jahres aber nur um wenige Prozent. Trotzdem variiert dementsprechend auch die Stärke der Sonneneinstrahlung geringfügig.

Änderungen der Erdbahnparameter, wie zum Beispiel eine Abweichung von der Kreisbahn oder eine Änderung der Neigung der Erdachse haben ebenfalls Auswirkungen auf die Strahlungsintensität. Allerdings spielen sich diese Veränderungen in Zyklen zwischen Zehn- und Hundertausenden von Jahren ab.

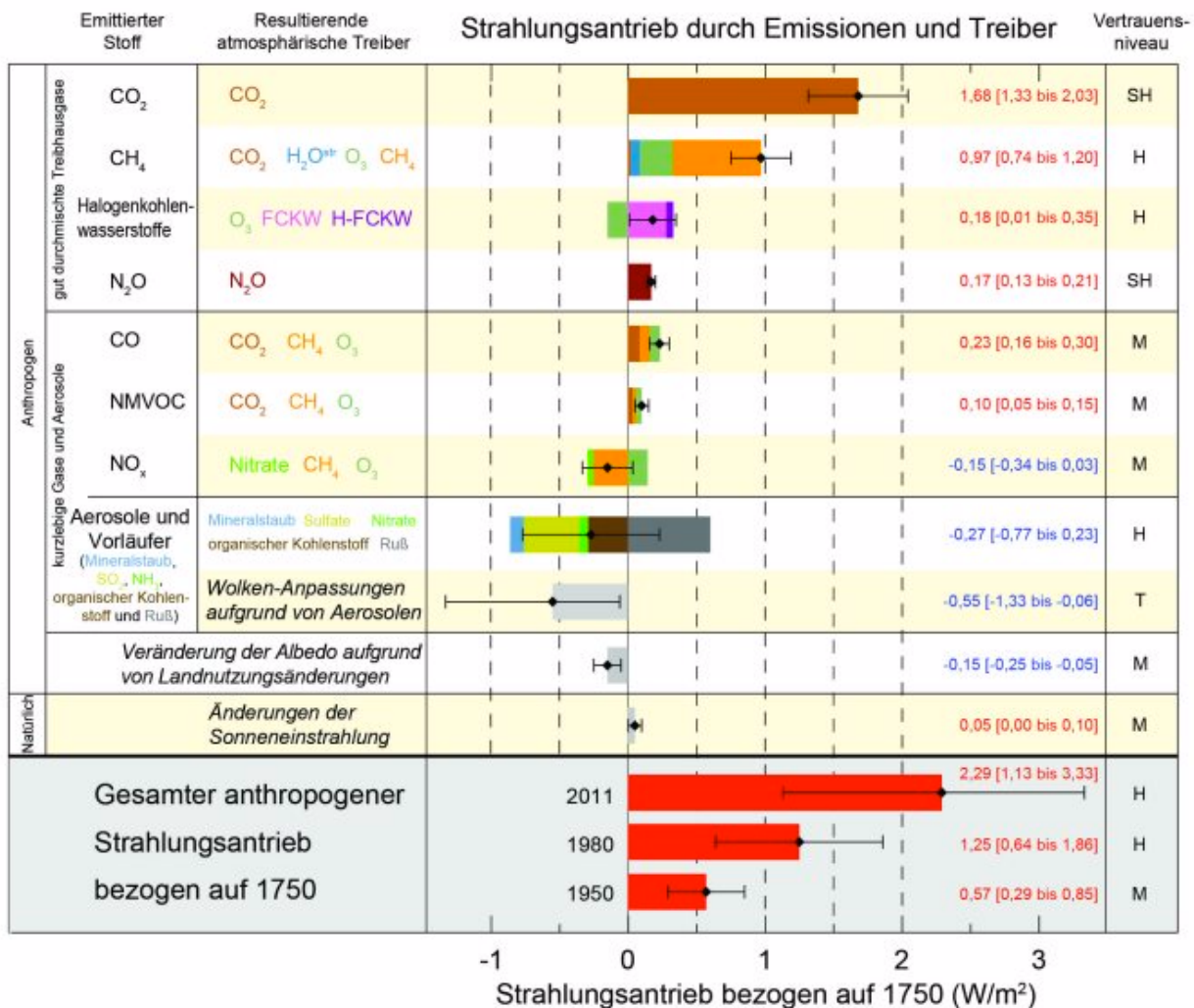
Eine andere Größe, die wesentlichen Einfluss auf unsere Energiebilanz hat, ist die Sonnenaktivität. Hier haben Messungen eine geringfügige Zunahme der Leistungsdichte der Sonneneinstrahlung ergeben. Der aus den Änderungen der Sonneneinstrahlung resultierende Strahlungsantrieb fällt mit 0,05 [0,00 bis 0,10] W/m^2 allerdings sehr gering aus.

Natürlicher Strahlungsantrieb - Resultierender Strahlungsantrieb

Nachdem wir alle Faktoren, die einen positiven oder negativen Strahlungsantrieb verursachen, vorgestellt haben, ist nun vor allem der resultierende durch Menschen verursachte (anthropogene) Strahlungsantrieb von Interesse.

Wir wissen bereits: Die Energiebilanz der Erde ist nicht mehr ausgeglichen. Wie hoch ist denn nun der Betrag dieses Ungleichgewichts?

In der Summe ist der anthropogene Strahlungsantrieb im Jahr 2011 (bezogen auf 1750) positiv und beläuft sich auf 2,29 [1,13 bis 3,33] W/m^2 .



WG1 Abbildung SPM.5

Quelle: IPCC, Klimaänderung 2013/2014, Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger, Abbildung SPM.5

Kohlendioxid, als wichtigstes anthropogenes Treibhausgas, bewirkt alleine einen positiven Strahlungsantrieb von 1,68 [1,33 bis 2,03] W/m². Seine Konzentration in der Atmosphäre hat sich stark erhöht.

Die Gesamtemissionsmenge anthropogenen Kohlendioxids vom Jahre 1750 bis 2011 bezieht der IPCC mit 555 [470 bis 640] Gigatonnen Kohlenstoff, was in etwa 2040 Gigatonnen Kohlendioxid entspricht.

Von dieser gewaltigen Emissionsmenge sind nach IPCC-Angaben aber nur 240 [230 bis 250] Gigatonnen C in der Atmosphäre verblieben. 315 Gigatonnen Kohlenstoff sind aber natürlich nicht verschwunden. Er wurde jeweils in etwa zur Hälfte von Landökosystemen und von den Ozeanen aufgenommen. Die dahinterstehenden Prozesse nennt man Kohlenstoffkreisläufe.