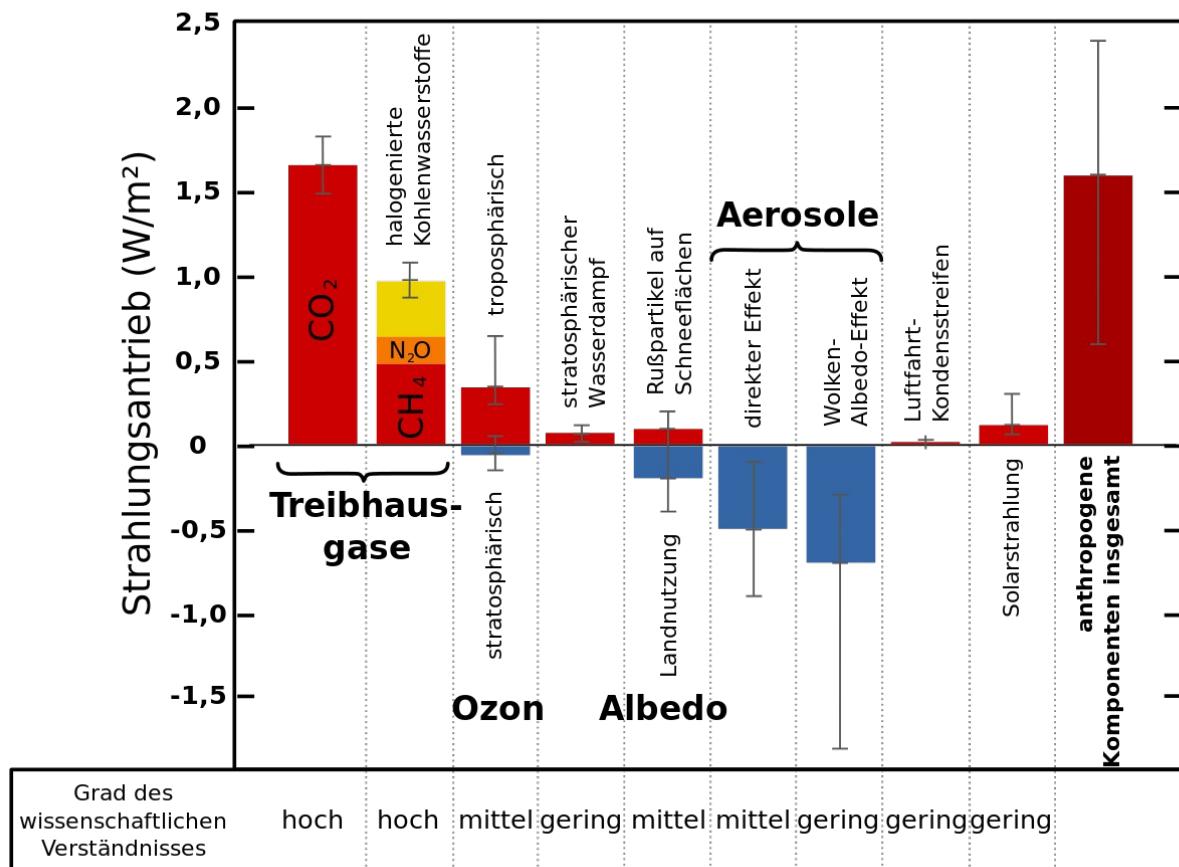




STRAHLUNGSANTRIEB [<https://de.wikipedia.org/wiki/Strahlungsantrieb>]
Der Strahlungsantrieb (engl. radiative forcing) ist ein Maß für die Änderung der Energiebilanz der Erde durch Änderung der Wirkung der Strahlung aus dem Weltraum und wird in W/m^2 gemessen.

Komponenten des Strahlungsantriebs



Komponenten des Strahlungsantriebs der globalen Erwärmung im Jahr 2005 bezogen auf das Referenzjahr 1750 und ihr Nettoeffekt auf den Wärmehaushalt der Erde.

[https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Komponenten_des_Strahlungsantriebs.svg]
Der Strahlungsantrieb der einzelnen Faktoren wird in der technischen Zusammenfassung des Vierten IPCC-Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I folgendermaßen angegeben (jeweils in Watt pro Quadratmeter) :

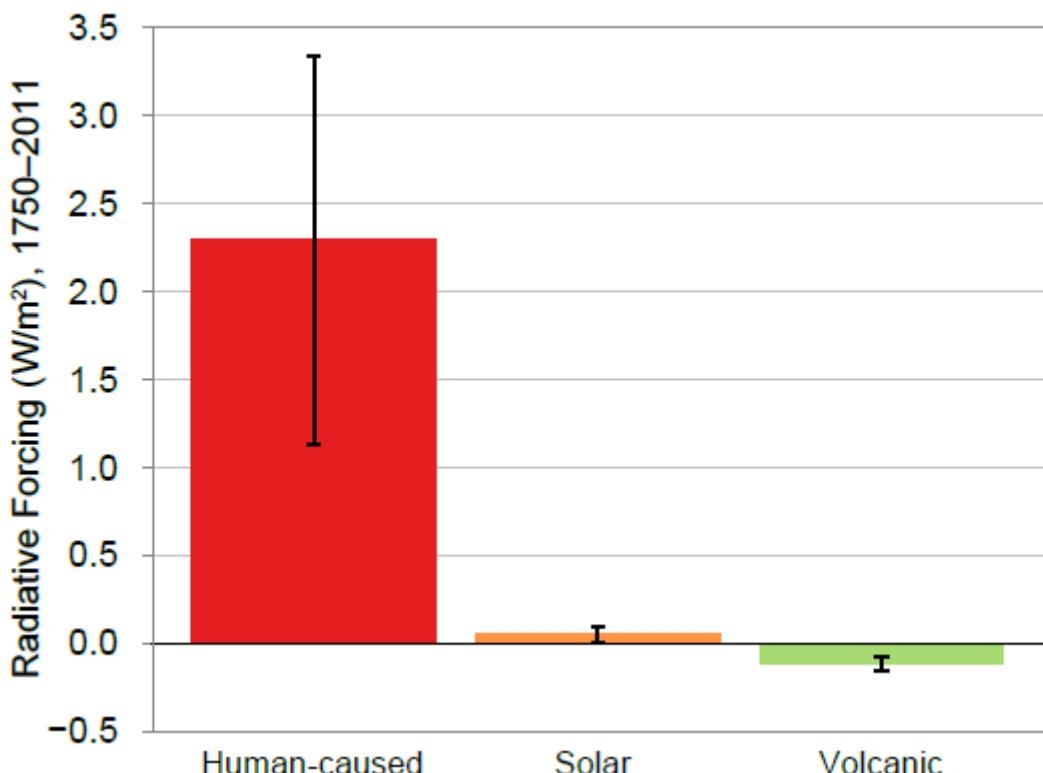
CO₂: 1,66 (1,49-1,83)
CH₄: 0,48 (0,43-0,53)
N₂O: 0,16 (0,14-0,18)
FCKW/FKW: 0,34 (0,31-0,37)
Stratosphärisches Ozon: -0,05 (-0,15-0,05)
Troposphärisches Ozon: 0,35 (0,25-0,65)
Stratosphärischer Wasserdampf von CH₄: 0,07 (0,02-0,12)
Oberflächenalbedo durch Landnutzung: -0,2 (-0,4-0,0)
Oberflächenalbedo durch Ruß auf Schnee: 0,1 (0,0-0,2)
Direkter Aerosoleffekt: -0,5 (-0,9--0,1)
Wolken-Albedo-Effekt: -0,7 (-1,8--0,3)
Luftfahrt-Kondensstreifen: 0,01 (0,003-0,03)
Solarstrahlung: 0,12 (0,06-0,30)
Nettoeffekt anthropogen: 1,6 (0,6-2,4)

All data is from the IPCC Fourth Assessment Report Summary for Policymakers.





Der Begriff radiative forcing bzw. climate forcing wurde vom IPCC eingeführt, um im Rahmen der Klimastudien den Einfluss externer Faktoren auf die Strahlungsbilanz bzw. das Klimasystem der Erde zu beschreiben. Solche Faktoren können bspw. die veränderte Konzentration von Treibhausgasen und Aerosolen, veränderte eingehende (absorbierte) solare Strahlung in W/m^2 oder eine veränderte Albedo sein. Im Kontext der globalen Erwärmung ist der Begriff auf Änderungen der Strahlungsbilanz des Oberflächen-Troposphären-Systems anzuwenden, die durch externe Faktoren hervorgerufen werden.



Ursachen der globalen Erwärmung (1750–2011) (Stand 2018)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Radiative_Forcing_1750-2011,_4th_National_Assessment,_2018.png
 USGCRP, 2017: Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 470 pp., doi: 10.7930/J0J964J6.

[https://science2017.globalchange.gov/downloads/CSSR2017_FullReport.pdf
 Der Strahlungsantrieb ist im erdsystemwissenschaftlichen Jargon ein sogenanntes Forcing, d. h. eine von außen auf ein System wirkende Kraft, die dieses System in eine bestimmte Richtung lenkt. So wirkt sich die solare Strahlung beispielsweise auf die Oberflächentemperatur der Erde oder des Mondes aus und steuert diese indirekt. Im Kontext der globalen Erwärmung ist der Begriff auf Änderungen der Strahlungsbilanz des Oberflächen-Troposphären-Systems anzuwenden, die durch externe Faktoren hervorgerufen werden.

Im Fünften Sachstandsbericht des IPCC wird der gesamte menschengemachte Strahlungsantrieb im Zeitraum 1750 bis 2011 netto (d. h. nach Abzug ebenfalls kühlender Effekte z. B. durch Aerosole) mit $2,3 \text{ W/m}^2$

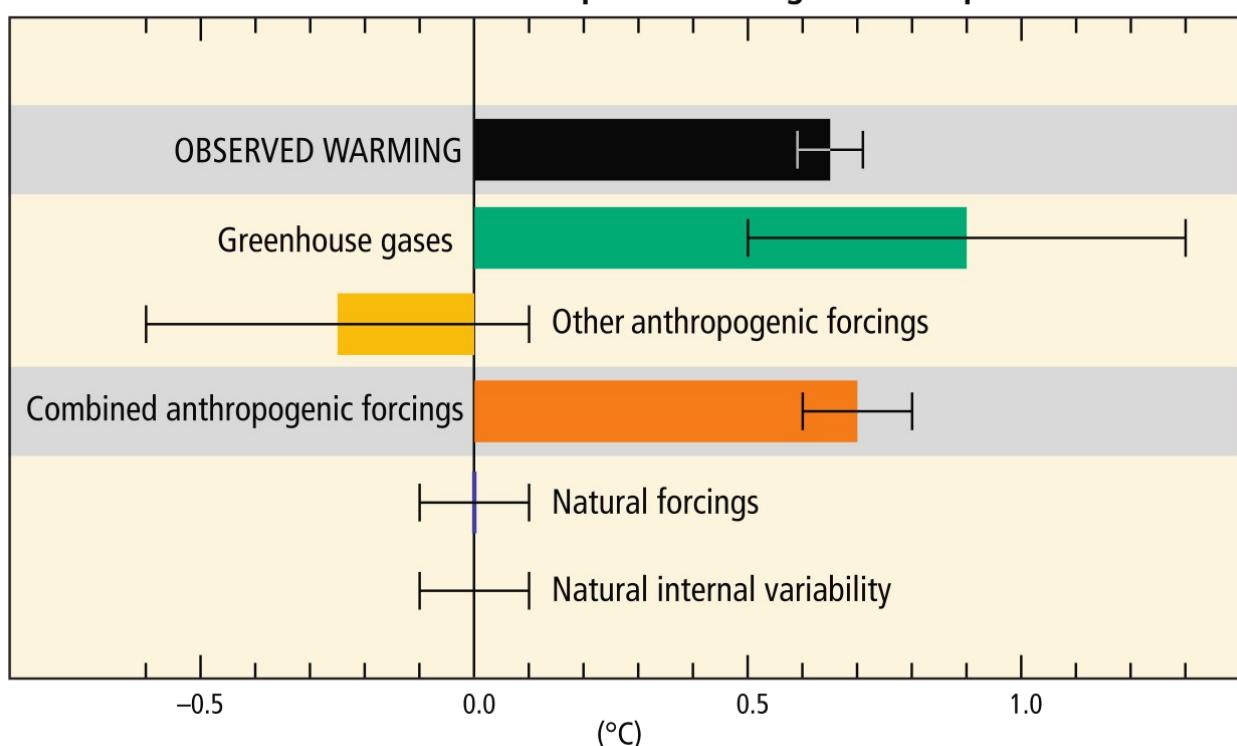




beziffert.

Zum Vergleich : Änderungen der Sonnenstrahlung bewirkten im gleichen Zeitraum einen Strahlungsantrieb von $0,05 \text{ W/m}^2$, was etwa 2 Prozent entspricht; seit Mitte des 20. Jahrhunderts ging die Sonnenaktivität sogar zurück.[6] Brutto verursachten alle emittierten langlebigen Treibhausgase einen Strahlungsantrieb von $2,83 \text{ W/m}^2$. Bedeutendstes Treibhausgas ist CO₂ mit $1,82 \text{ W/m}^2$, gefolgt von Methan mit $0,48 \text{ W/m}^2$. Halogenwasserstoffe verursachen einen Strahlungsantrieb von $0,36 \text{ W/m}^2$, Lachgas $0,17 \text{ W/m}^2$. Ebenfalls verantwortlich für einen positiven Strahlungsantrieb sind Fluorkohlenwasserstoffe, deren Beitrag nach einem massiven Rückgang der weltweiten Produktion aber inzwischen abnimmt. Von den kurzlebigen Treibhausgasen hat Ozon, dessen Produktion durch Stickoxide, Kohlenmonoxid oder Kohlenwasserstoffe angeregt wird, mit $0,4 \text{ W/m}^2$ den höchsten Strahlungsantrieb. Einen negativen (d. h. kühlenden) Strahlungsantrieb in Höhe von $-0,9 \text{ W/m}^2$ verursachen Aerosole.

Contributions to observed surface temperature change over the period 1951–2010



[https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Contributions_to_observed_surface_temperature_change_over_the_period_1951%E2%80%932010.svg

Contributions to observed surface temperature change over the period 1951–2010

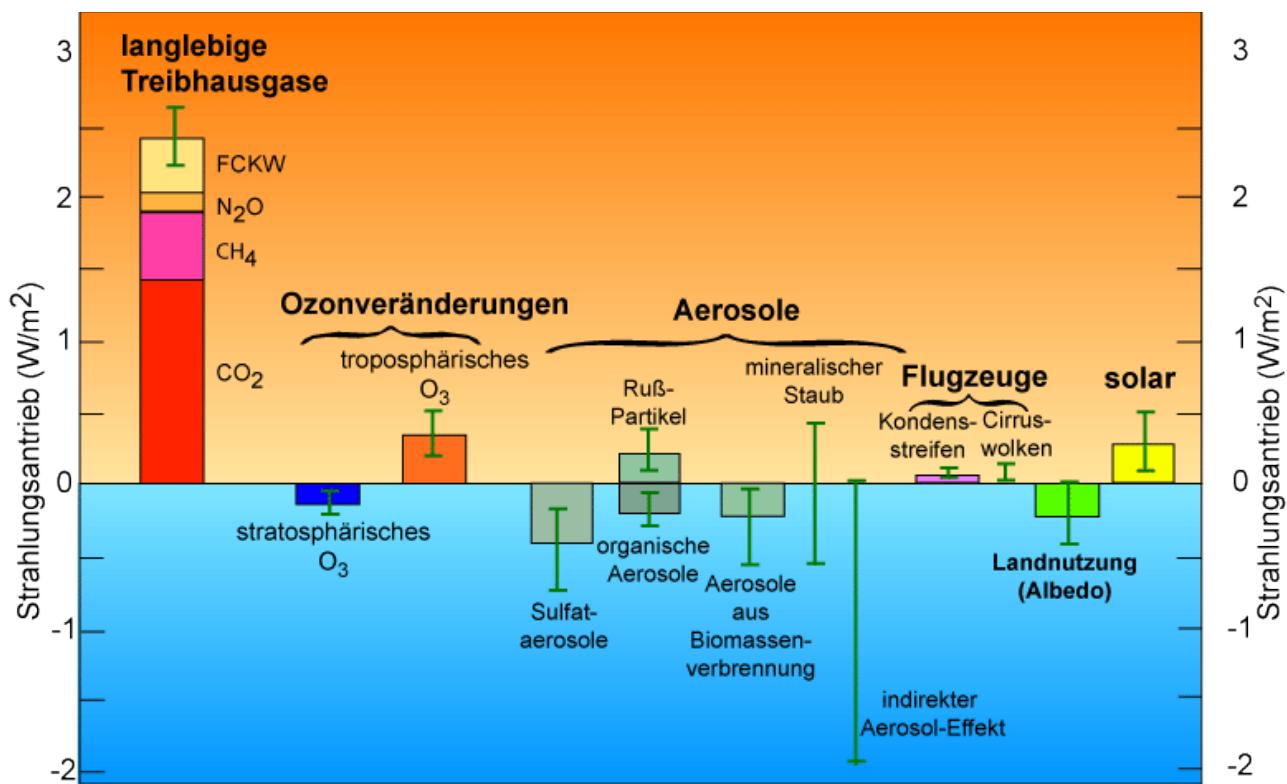
Quelle : https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf - page. 48

Jede Bezifferung der Wirkung von einzelnen klimarelevanten Einflüssen ist mit dem Problem verbunden, wie diese Einflüsse möglichst objektiv und genau miteinander verglichen werden können.

Dies liegt daran, dass sich viele Prozesse gegenseitig beeinflussen, also Rückkopplungen erzeugen und sich so verstärken oder abschwächen.

Man spricht in der Wissenschaft dabei von Nichtlinearität.





Veränderung des mittleren globalen und jährlichen Strahlungsantriebs durch Treibhausgase, Aerosole und Solarvariabilität 1750 bis 2000

[<https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Strahlungsantrieb>

[<https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/upload/Strahlungsantrieb.gif>

Abb. verändert nach IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Houghton, J.T. et al., eds), Cambridge and New York 2001, Figure 6.6.

Einzelnachweise : IPCC 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (Seite 3 f. von 18 der PDF-Datei)

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/IPCC2007-WG1_german.pdf

Klimaänderung 2007: Synthesebericht, Seite 43 (51 von 117 der PDF-Datei), Abbildung 2.4. Global gemittelter Strahlungsantrieb (offizielle deutsche Übersetzung der Deutschen IPCC Koordinierungsstelle)

[<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/IPCC2007-SYR-german.pdf>

KLIMAÄNDERUNG 2013: Naturwissenschaftliche Grundlagen

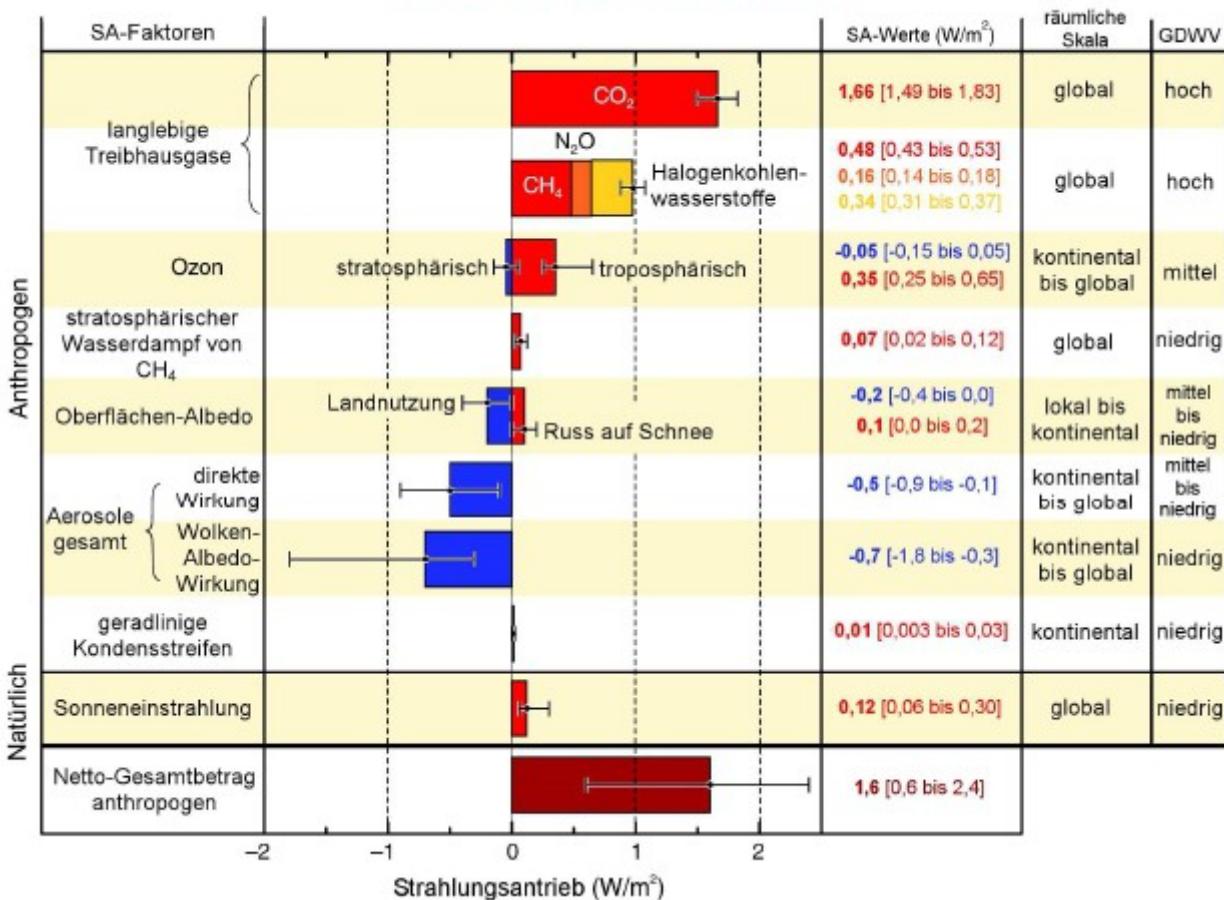
[<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5-wg1-spmgerman.pdf>

Der Vierte Sachstandsbericht (Fourth Assessment Report, AR4) des IPCC stellt fest: "Das Verständnis der erwärmenden und kühlenden anthropogenen Einflüsse auf das Klima hat sich seit dem Dritten Sachstandsbericht (TAR) verbessert und zu einem sehr hohen Vertrauen geführt, dass der globale durchschnittliche Nettoeffekt der menschlichen Aktivitäten seit 1750 eine Erwärmung war, mit einem Strahlungsantrieb von $+1,6 \text{ W m}^{-2}$ (Unsicherheitsbereich: $+0,6$ bis $+2,4 \text{ W m}^{-2}$).





Komponenten des Strahlungsantriebs



Global gemittelter Strahlungsantrieb (SA) im Jahr 2005 gegenüber 1750 für CO_2 , CH_4 , N_2O und andere wichtige Faktoren und Mechanismen, zusammen mit der typischen geographischen Ausdehnung des Antriebs und einer Beurteilung des Grades des wissenschaftlichen Verständnisses (GDWV). Aerosole aus explosiven Vulkanausbrüchen führen zu einer zusätzlichen episodischen Abkühlungsphase für ein paar Jahre nach einer Eruption. Die Bandbreite geradliniger Kondensstreifen schließt keine anderen möglichen Effekte der Luftfahrt auf die Bewölkung mit ein.

[<https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Strahlungsantrieb>

[<https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Strahlungsantrieb.jpg> Schätzungen und Bandbreiten des global gemittelten Strahlungsantriebs (SA) im Jahr 2005 für anthropogenes Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und andere wichtige Faktoren und Mechanismen, zusammen mit der typischen geographischen Ausdehnung (räumliche Skala) des Antriebs und der Beurteilung des Grades des wissenschaftlichen Verständnisses (GDWV). Der Nettobetrag und die Bandbreite des anthropogenen Strahlungsantriebs sind ebenfalls angeführt. Deren Berechnung benötigt die Summierung von asymmetrischen Unsicherheitsabschätzungen der einzelnen Faktoren und kann deshalb nicht durch einfache Addition durchgeführt werden. Für weitere hier nicht aufgeführte Strahlungsantriebe wird das GDWV als sehr niedrig eingeschätzt.

IPCC 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger.

In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (Seite 3 f. von 18 der PDF-Datei)





[<http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutsch/IPCC2007-WG1.pdf>
 Klimaänderung 2007: Synthesebericht, Seite 43 (51 von 117 der PDF-Datei),
 Abbildung 2.4. Global gemittelter Strahlungsantrieb

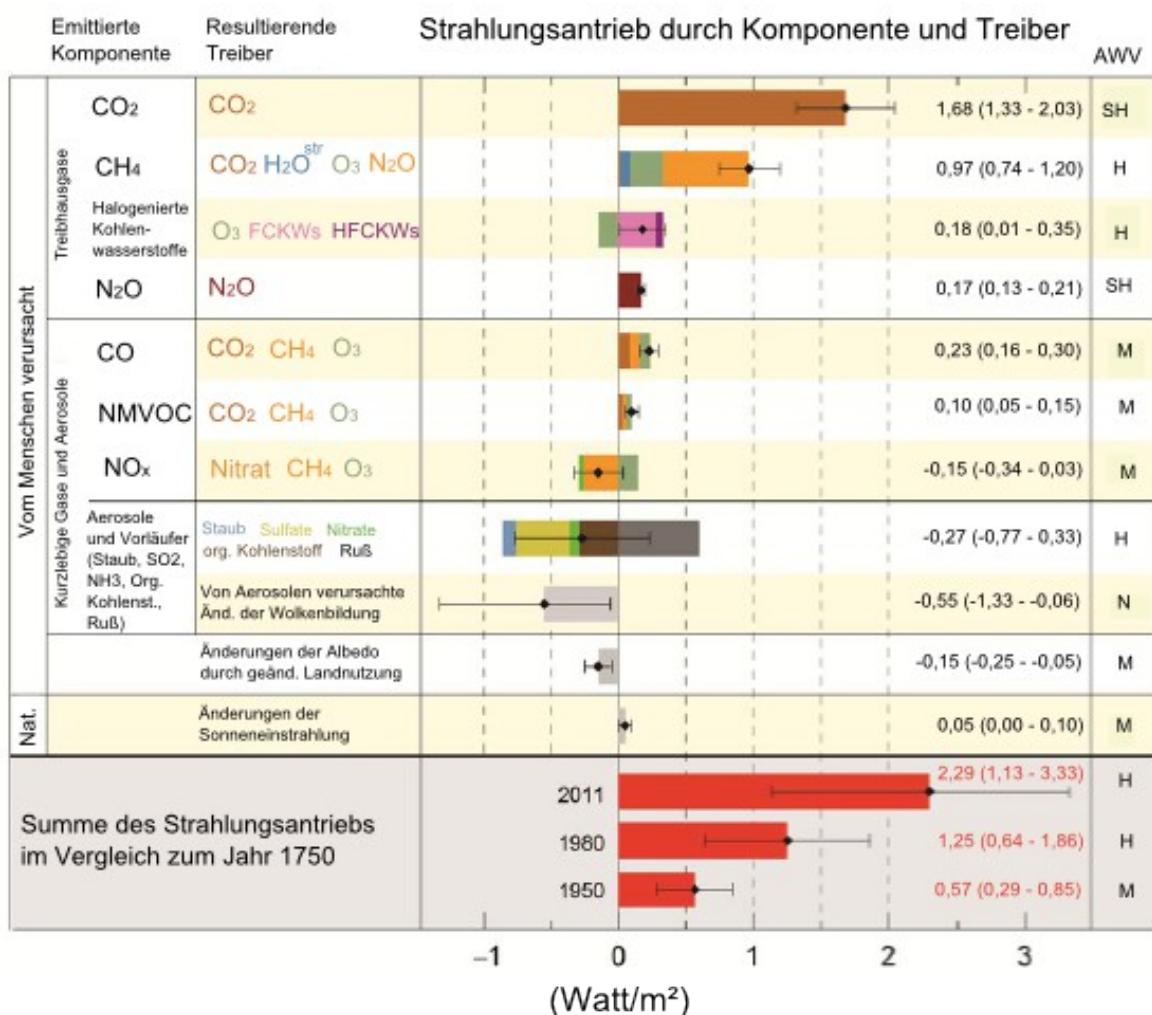
[http://www.de-ipcc.de/download/IPCC-SynRep_d_final_20081001.pdf
 (offizielle deutsche Übersetzung der Deutschen IPCC Koordinierungsstelle)

Lizenz: IPCC-Lizenz: Reproduction of limited number of figures or short excerpts of IPCC material is authorized free of charge and without formal written permission provided that the original source is properly acknowledged, with mention of the complete name of the report, the publisher and the numbering of the page(s) or the figure(s). Permission can only be granted to use the material exactly as it is in the report. Please be aware that figures cannot be altered in any way, including the full legend.

[<https://www.oekosystem-erde.de/html/ipcc-5-wg1.html>

[<https://www.oekosystem-erde.de/html/ipcc-5-wg2.html>

Die folgende Abbildung zeigt den durchschnittlichen Strahlungsantrieb für den Zeitraum von 1750 bis 2011:



[<https://www.oekosystem-erde.de/html/bilder/ar5-wg1-06.png>

Schätzung des Strahlungsantriebs verschiedener Treiber des Klimawandels für den Zeitraum 1750 bis 2011. Die schwarzen Rauten geben die besten Schätzung an, die Linien stellen die Unsicherheiten dar.

Rechts stehen die Zahlenangaben (Unsicherheiten in Klammern) in Watt/m², ganz





rechts ist das Ausmaß des wissenschaftlichen Verständnisses (AWV) dargestellt. SH steht für sehr hoch, H für hoch, M für mittel und N für niedrig.

Ganz unten die Abschätzung der Summe der vom Menschen verursachten Klimaveränderungen für drei Jahre dargestellt.

Quelle der Abbildung: IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers, Abb. SPM 5, eigene Übersetzung.

Diese Abbildung verdeutlicht zwei wichtige Forschungsergebnisse : Sie zeigt zum einen, wie gering bei der aktuellen Klimaerwärmung der Beitrag natürlicher Faktoren (das umfasst nicht nur Schwankungen der Sonneneinstrahlung, sondern z.B. auch Vulkanausbrüche [006]) im Vergleich zum Einfluss des Menschen ist: Der weitaus größte Teil der Erderwärmung ist vom Menschen verursacht. Sie zeigt aber auch, dass es menschliche Einwirkungen gibt, die die Erderwärmung vermindern: Partikel in der Luft (Aerosole) sorgen dafür, dass weniger Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche ankommt – ohne diesen Effekt wäre der Strahlungsantrieb und damit die Erderwärmung sogar noch größer. Andere Luftverschmutzungen, etwa Ruß und troposphärisches Ozon, erhöhen die Erderwärmung zusätzlich, und in der Summe haben die menschlichen Beiträge den Strahlungsantrieb erheblich erhöht und damit wesentlich zu der gemessenen Erwärmung geführt.

Der untere Teil der Abbildung zeigt, dass der Strahlungsantrieb von 1980 bis 2011 um über ein Watt/m² zugenommen hat, schneller als zuvor.

Insgesamt beträgt die Zunahme seit 1750 2,29 Watt/m².

Die Veränderung der Konzentration des Treibhausgases Kohlendioxid in der Atmosphäre seit Beginn der Industriellen Revolution hat alleine einen Strahlungsantrieb von 1,68 Watt/m² verursacht; die der Treibhausgase insgesamt von 2,83 Watt/m².

Aerosole (in der Luft gelöste oder schwebende Flüssigkeiten und Schwebstoffe) in der Atmosphäre haben die Auswirkungen des Klimawandels wahrscheinlich gemindert, insbesondere wenn man ihren Einfluss auf die Wolkenbildung berücksichtigt (Strahlungsantrieb -1,9 bis -0,1 Watt/m²; diese Prozesse sind aber noch nicht gut verstanden, das Ausmaß des wissenschaftlichen Verständnisses ist niedrig, wie auch die große Spannweite des Strahlungsantriebs zeigt). Kurzlebige Gase wie Kohlenmonoxid und Stickoxide verändern ebenfalls den Strahlungsantrieb der Erde, ihr Einfluss kann die Erwärmung sowohl fördern als auch abmildern.

Änderungen in der Sonneneinstrahlung haben nur einen Strahlungsantrieb von 0,05 Watt/m² ausgelöst, ihr Beitrag zum Klimawandel ist gering.

Vulkanausbrüche hatten einen größeren Einfluss, sie haben von 2008 bis 2011 mit einem Strahlungsantrieb von -0,11 Watt/m² den Klimawandel etwas gebremst.

Der Strahlungsantrieb des Ausbruchs des Pinatubo im Jahr 1991 betrug etwa -4 Watt/m², das heißt, er reduzierte die Sonneneinstrahlung um fast zwei Prozent. Verantwortlich dafür war Schwefeldioxid, dass in der Stratosphäre zu Schwefelsäure reagierte, die Sonnenlicht reflektierte.

Der Effekt hielt aber nur kurz an : Bereits nach drei Jahren war die Schwefelsäure weitgehend aus der Atmosphäre ausgewaschen.

So kurzlebig sind die Treibhausgase leider nicht :

Heute freigesetztes Kohlendioxid zum Beispiel wird noch in 1.000 Jahren zur Hälfte in der Atmosphäre vorhanden sein.

