

Das Verständnis des erhöhten Treibhauseffektes

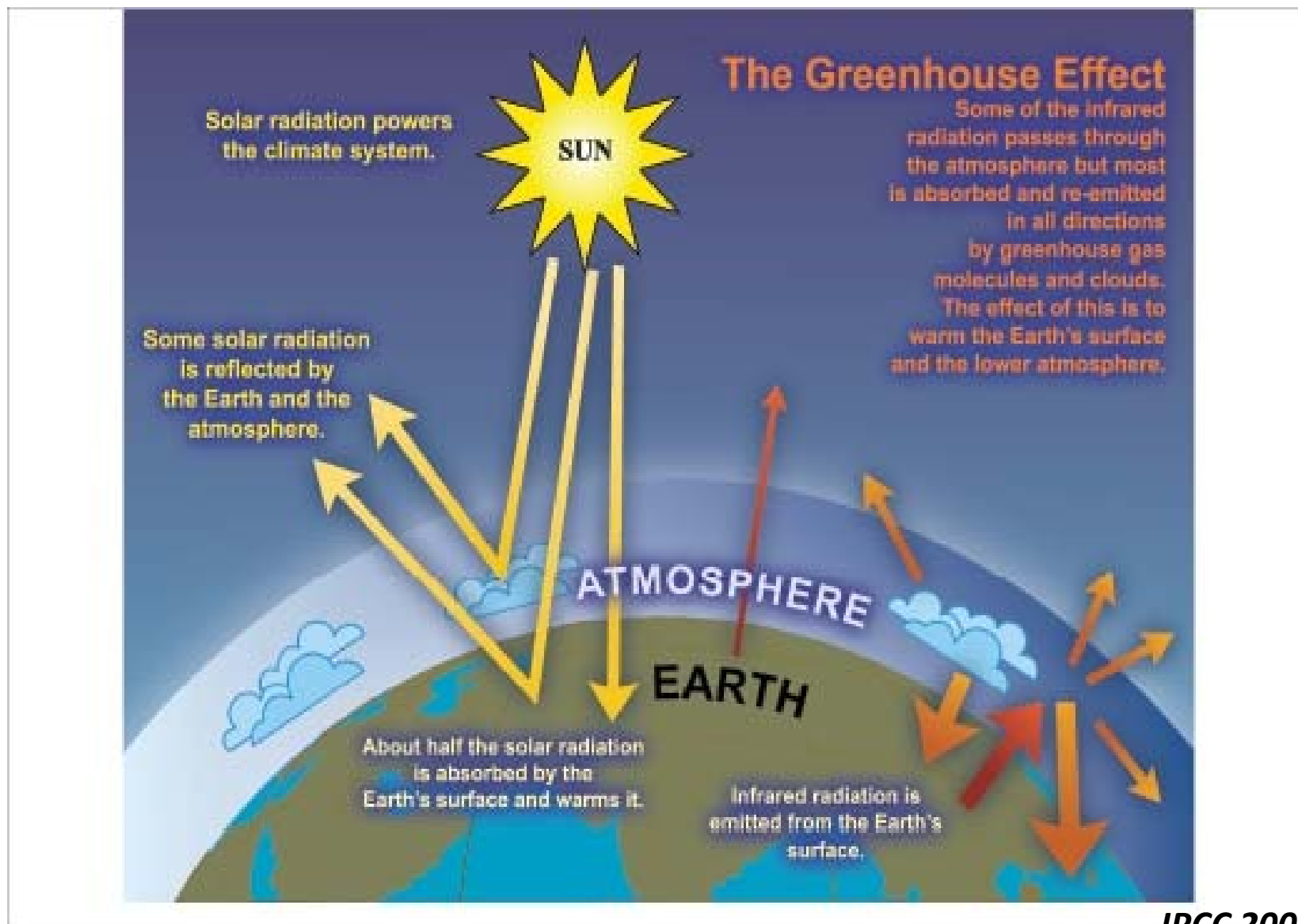
Hartmut Graßl

Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

Beitrag zum Festkolloquium in Kremsmünster

13. Juni 2013

Ein vereinfachtes Schema des Treibhauseffektes der Erdatmosphäre



Gliederung

- ***Frühe Geschichte des Verständnisses des natürlichen Treibhauseffektes der Erdatmosphäre***
- ***Erste Äußerung zum erhöhten Treibhauseffekt***
- ***Erste volle Theorie des anthropogenen Treibhauseffektes***
- ***Heutiges Verständnis des erhöhten Treibhauseffektes***
- ***Messung des Treibhauseffektes***

Vorbemerkung

Als in Kremsmünster mit meteorologischen Beobachtungen begonnen worden ist (1763), hat ein Genfer Naturforscher, Benedicte Horace de Saussure, begonnen einen Solarofen zu bauen, den er 1772 an einem Vorberg des Mont Blanc getestet hat; und der später einen anderen Wissenschaftler zur ersten vagen Überlegung zum Treibhauseffekt der Erdatmosphäre veranlasste.

Der Treibhauseffekt als Basisphänomen einer Atmosphäre

Die drei festen Planeten Venus, Mars und die Erde haben einen Treibhauseffekt ihrer Atmosphäre (mit ≈ 400 , ≈ 10 , ≈ 33 °C), der vom Kohlendioxidgehalt dominiert oder wie bei der Erde wesentlich gesteuert wird.

Daraus folgt:

- 1) Sie müssen nicht nur groß genug sein eine Atmosphäre zu besitzen, sondern die in der Atmosphäre vorhandenen Gase müssen die Sonnenenergie weniger stark absorbieren als die von der Oberfläche ausgehende Wärmestrahlung***
- 2) Die Planetenoberfläche ist wärmer als sie ohne diese Gase wäre***
- 3) Eine veränderte Zusammensetzung der Atmosphäre muss also die Oberflächentemperatur ändern***

***Die frühe Geschichte unseres
Verständnisses
des Treibhauseffektes der
Erdatmosphäre***



Jean Baptiste Joseph Fourier
1768 – 1830

He was a scientist, politician, twice for a short period a prisoner and needed 15 years to publish his famous academy lectures of 1807, and a treatise on planetary temperatures in 1811, reshaped into a book, in 1822. Also his most frequently cited publication of 1827 with respect to the first idea on the greenhouse effect is just a reprint of a publication in 1824.

Fourier (1824): *“La transparence des eaux et celle de l’air paraissent concourir à augmenter le degré de chaleur acquise, parce que la chaleur lumineuse affluente pénètre assez facilement dans l’intérieur de la masse, et que la chaleur obscure sort plus difficilement suivant une route contraire”.*

Translation by the author:

Both the transparency of water and air seem to compete to augment the heat absorbed because the incoming visible heat penetrates rather easily into the interior of the mass but the invisible heat escapes more difficult.

Die Durchlässigkeit von Wasser und Luft scheint die Wärmeaufnahme zu erhöhen, weil das einfallende Licht leicht ins Innere der Masse vordringt, die unsichtbare Wärme aber weit schwieriger abgestrahlt werden kann.

Fourier, J (1824): "Remarques Générales sur les Températures du Globe Terrestre et des Espaces Planétaires". Annales de Chimie et de Physique 27: 136–67.

Diese Aussage hat eine eigenartige Geschichte :

- 1) Fourier wurde die Veröffentlichung seiner berühmten Arbeit zur Entwicklung jeder stetigen Funktion in eine Reihe trigonometrischer Funktionen aus dem Jahre 1807 verweigert, weil er Lagrange und andere in der Akademie nicht überzeugen konnte.***
- 2) Im Jahre 1811 reichte er eine Preisschrift mit Anhang zu Temperaturen eines Planeten ein. Er bekam den Preis, aber auch diese Arbeit wurde nicht veröffentlicht.***
- 3) Als Präfekt eines Departments in Frankreich arbeitete er über viele Jahre in der Napoleonzeit nur in seiner Freizeit als Wissenschaftler.***
- 4) Im Jahre 1822 wurde ihm erlaubt einen überarbeiteten Text seiner beiden Arbeiten als Buch zu veröffentlichen. Dieses Buch wird jedoch fast nicht zitiert.***
- 5) Im Jahre 1824 veröffentlicht er eine nur leicht überarbeitete Fassung, die häufiger zitiert wird, aber die meisten Rückblicke nennen nur seine Arbeit aus dem Jahre 1827, eine Wiedergabe der von 1824.***



*Claude Servais Mathias Pouillet
16 February 1791 – 14 June 1868
Der Pionier der Messung der
Solarkonstante*

His first estimate of solar irradiance at TOA using the pyrheliometer he had constructed was 1228 W/m^2

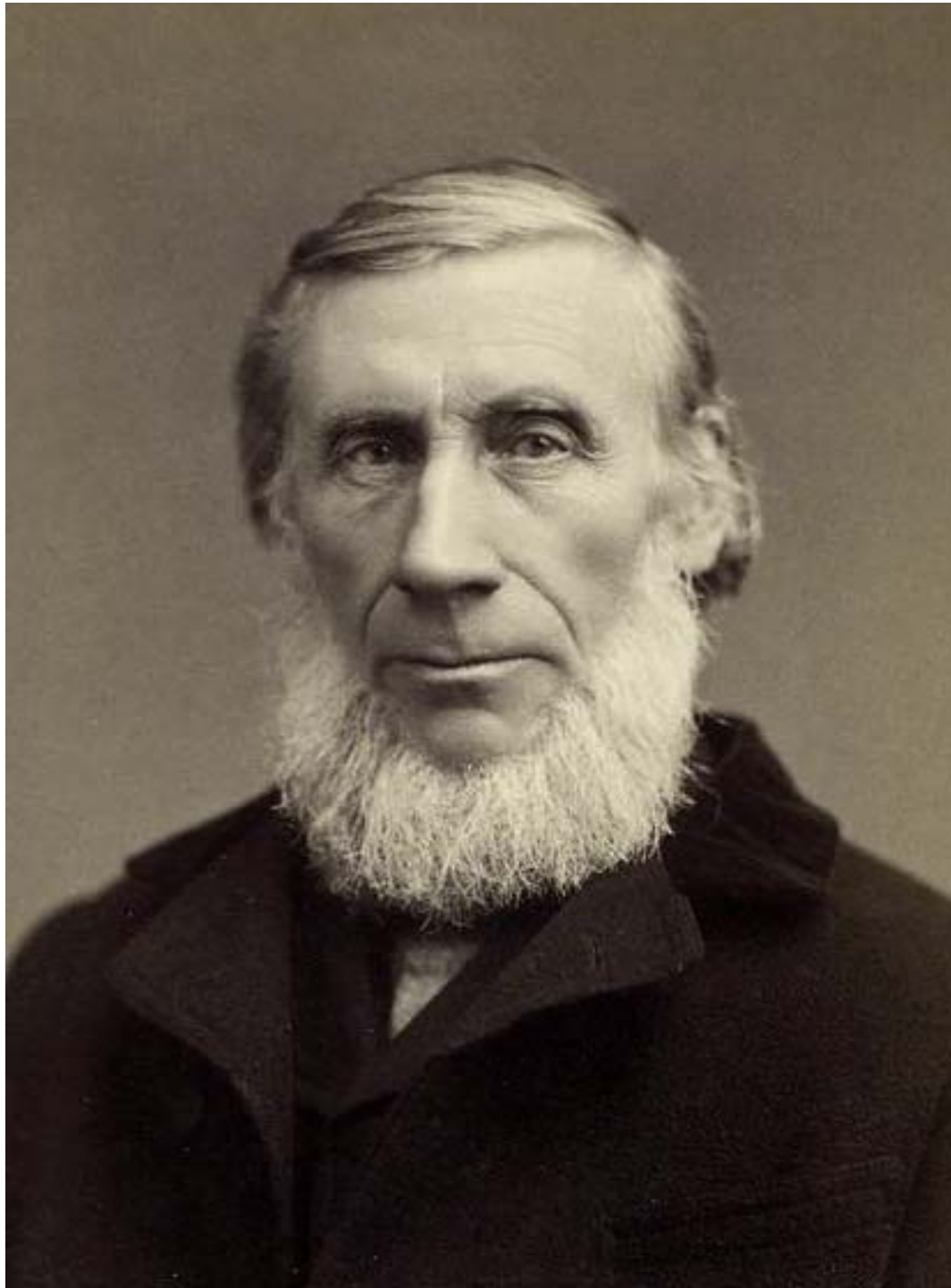
Seine erste Schätzung der Bestrahlungsstärke der Sonne aus Messungen mit dem von ihm konstruierten ersten Pyrheliometer war 1228 W/m^2 und lag näher zum richtigen Wert als alle anderen Schätzungen bis fast in die Mitte des 20. Jahrhunderts

Claude Servais Mathias Pouillet (1791-1868), professor of physics at the Sorbonne and member of the French Academy of Science, has constructed the first pyrheliometer, an instrument that measured the quantity of heat received from the sun. He made early estimates of the thermal equivalent of solar radiation outside of the atmosphere, or the so-called solar constant, and provided **the first estimates of the role of water vapor for the greenhouse effect.**

"Mémoire sur la chaleur solaire, sur les pouvoirs rayonnants et absorbants de l'air atmosphérique, et sur les températures de l'espace," by Pouillet, Claude S. M (1838) *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 7, no. 2, 24-65.

Translation into English by Richard Taylor, "Memoir on Solar Heat, the Radiative Effects of the Atmosphere, and the Temperature of Space," *Scientific Memoirs* 4 (London: Taylor and Francis, 1846)

Assessed on 02 08 12 from the National
Science Digital Library (NSDL)



John Tyndall

2 August 1820 – 4 December 1893

Experimental Physicist

He was the first to publish a “modern” version of the definition of the greenhouse effect based on his own laboratory measurements of the transmission of many gases, among them water vapour

Er war der erste, der eine moderne Version der Definition des Treibhauseffektes der Erdatmosphäre auf der Basis seiner eigenen Labor-messungen der Transmission von Gasen (unter anderem des Wasserdampfes) formulierte

In 1863 Tyndall wrote:

"The solar heat possesses the power of crossing an atmosphere, but, when the heat is absorbed by the planet, it is so changed in quality that the rays emanating from the planet cannot get with the same freedom back into space. Thus the atmosphere admits the entrance of the solar heat but checks its exit, and the result is a tendency to accumulate heat at the surface of the planet"

Die Wärme der Sonne durchdringt die Atmosphäre, aber wenn die Wärme vom Planeten absorbiert wird, ändert sich die Art der Wärme so, dass die Strahlung nicht mit derselben Leichtigkeit in den Weltraum zurückgelangen kann. Also erlaubt die Atmosphäre das Vordringen der Sonnenwärme aber begrenzt die Rückstrahlung, wodurch es die Tendenz zur Erwärmung an der Planetenoberfläche gibt.

John Tyndall (1863): On the transmission of heat of different qualities through gases of different kinds; Proceedings of the Royal Institute of Great Britain 3: 158

*Die erste Berechnung des durch uns
Menschen erhöhten Treibhauseffektes
der Erdatmosphäre*



Svante August Arrhenius

19 February 1859 – 2 October 1927

Svante Arrhenius

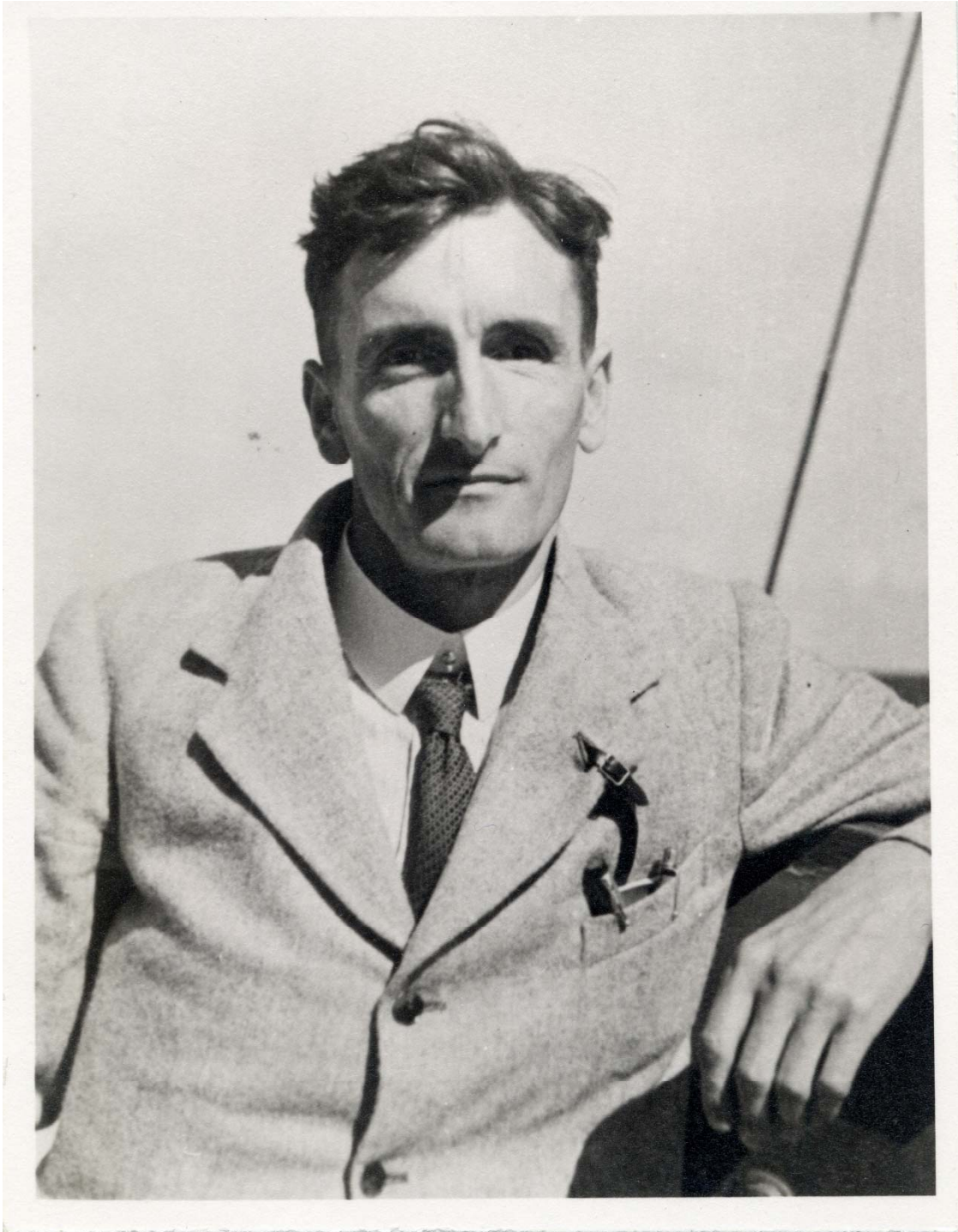
The first to talk about anthropogenic climate change caused by an enhanced greenhouse effect of the atmosphere was the Swede Svante Arrhenius. He used the knowledge of carbon dioxide absorption bands published by Langley to argue that increased combustion of coal – at that time mainly in Great Britain – may lead to higher surface temperatures. He stated: *'[...] if the quantity of carbonic acid [CO₂] increases in geometric progression, the augmentation of the temperature will increase nearly in arithmetic progression'* (Arrhenius 1896). *(die Temperatur steigt annähernd mit dem Logarithmus der Zunahme des Kohlendioxids)*

Svante Arrhenius (1896): On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground ; Philosophical Magazine and Journal of Science, Series 5, Volume 41, April 1896

Die Geburt des Geo-engineering

Nach **Eckholm** (1899), einem Freund von Arrhenius, würde das Verbrennen von Kohle bis zur Verdoppelung des Kohlendioxidgehaltes ohne Zweifel eine Erhöhung der mittlereren Temperatur an der Erdoberfläche bedeuten, was dem Menschen die Chance zur Klimaregulation gibt, so dass Eiszeiten vermieden werden könnten (Fleming 1998).

***Die erst volle Theorie des
anthropogenen Treibhauseffektes***



Guy Stewart Callendar

February 1898 - October 1964

He developed the first full theory of anthropogenic climate change (most of his colleagues, however, did not accept it during his lifetime).

Er entwickelte die erste vollständige Theorie der anthropogenen Klimaänderung (fast alle seine Kollegen haben dies bis zum Ende seines Lebens nicht akzeptiert).

THE ARTIFICIAL PRODUCTION OF CARBON DIOXIDE AND ITS INFLUENCE ON TEMPERATURE

By G. S. CALLENDAR

Steam technologist to the British Electrical and Allied Industries Research Association, communicated by Dr. G. M. B. DOBSON F.R.S.)

[Manuscript received May 19, 1937-read February 16, 1938.]

SUMMARY

By fuel combustion man has added about 150,000 million tons of carbon dioxide to the air during the past half century. The author estimates from the best available data that approximately three quarters of this has remained in the atmosphere. The radiation absorption coefficients of carbon dioxide and water vapour are used to show the effect of carbon dioxide on "sky radiation." From this the increase in mean temperature, due to the artificial production of carbon dioxide, is estimated to be at the rate of 0.003°C per year at the present time. The temperature observations at 100 meteorological stations are used to show that world temperatures have actually increased at an average rate of 0.005°C per year during the past half century. (QJRMS, 1938)

Guy Stuart Callendar added a year later (1939):

‘As man is now changing the composition of the atmosphere at a rate which must be very exceptional on the geological time scale, it is natural to seek for the probable effects of such a change. From the best laboratory observations it appears that the principal result of increasing carbon dioxide [...] would be a gradual increase in the mean temperature of the colder regions of the Earth’.

Callendar, G. S. (1939): The composition of the atmosphere through the ages. *Meteorological Magazine* 74: 33–39.

***Der Beginn einer politischen Debatte über
den anthropogenen Treibhauseffekt :***

***Die Äußerung einer Akademie der
Wissenschaften***

***Ad-hoc Study Group on Carbon Dioxide and Climate
Report to the Climate Research Board , Assembly of Mathematical and
Physical Sciences, National Research Council , USA, 1979***

The conclusions of this brief but intense investigation may be comforting to scientists but disturbing to policymakers. If carbon dioxide continues to increase, the study group finds no reason to doubt that climate changes will result and no reason to believe that these changes will be negligible. The conclusions of prior studies have been generally reaffirmed. However, the study group points out that the ocean, the great and ponderous flywheel of the global climate system, may be expected to slow the course of observable climatic change. A wait-and-see policy may mean waiting until it is too late.

1979 National Research Council Report

“When it is assumed that CO₂ ... is doubled ... the more realistic modeling efforts predict a global surface warming of 2 to 3.5°C”

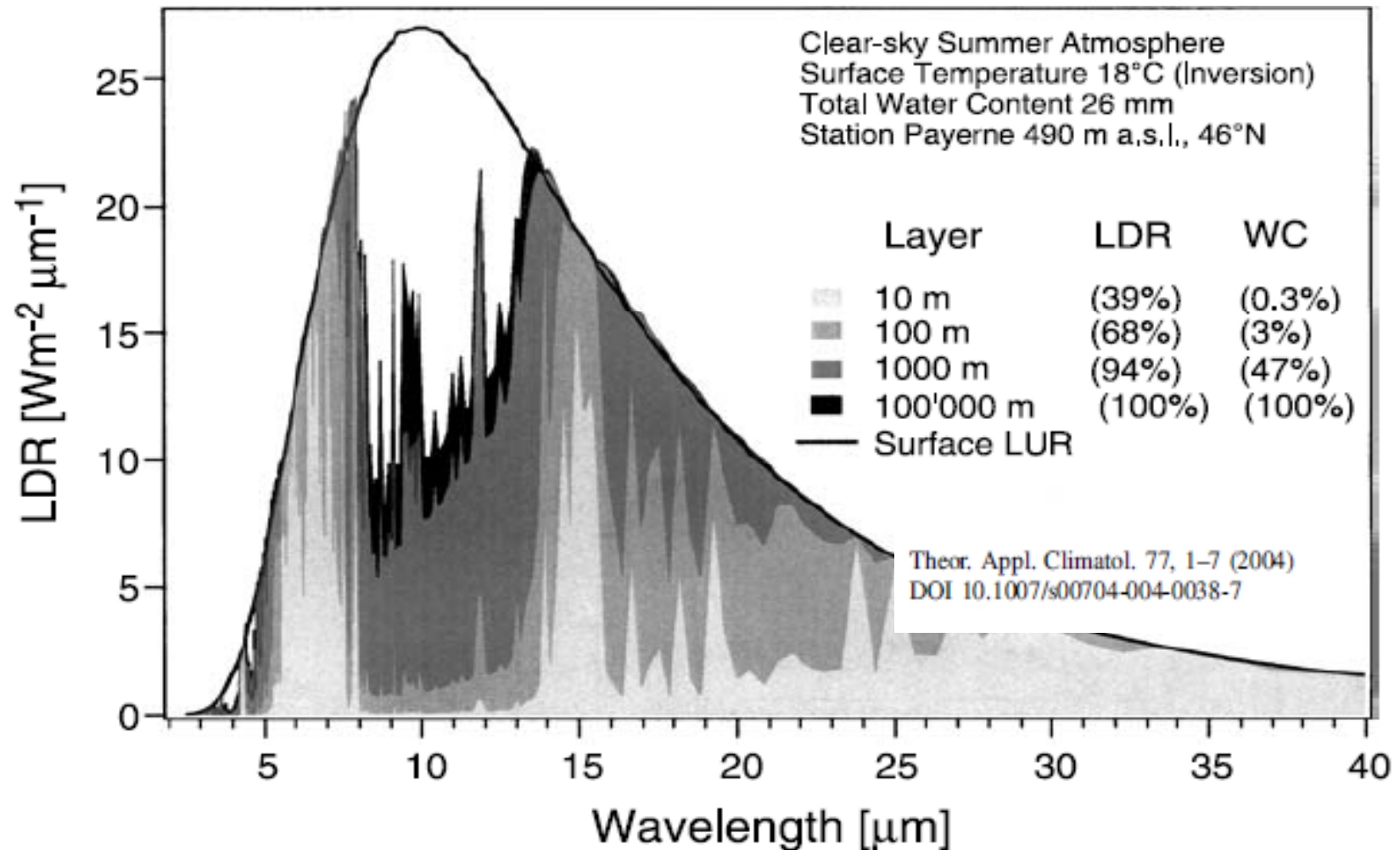
Through this report the enhanced greenhouse effect enters the political arena prior to the First World Climate Conference in 1979, which called for a World Climate Programme, whose research component became the well-known World Climate Research Programme (WCRP)

In September 1983 WMO's 14th Ozone Report was drafted in Boulder, CO, USA „officially“ adding many more anthropogenic greenhouse gases, e.g. CFCs, to the list of naturally occurring ones (their ranking: H₂O, CO₂, O₃, N₂O, CH₄ (, CO, N₂, O₂))

Im September 1983 wurde der 14. Ozonbericht der WMO in Boulder, CO, USA formuliert, in dem viele neue anthropogene Treibhausgase, z.B. die FCKW, zu den natürlich vorkommenden hinzugefügt wurden (ihre Reihung: H₂O, CO₂, O₃, N₂O, CH₄ (, CO, N₂, O₂))

Spektrale langwellige Gegenstrahlung aus verschiedenem Abstand zur Erdoberfläche

Spectral longwave downward radiation flux density (LDR) in Payerne (Philipona et al. (2004))



Energieflüsse im System Erde

Global Energy Flows $W m^{-2}$

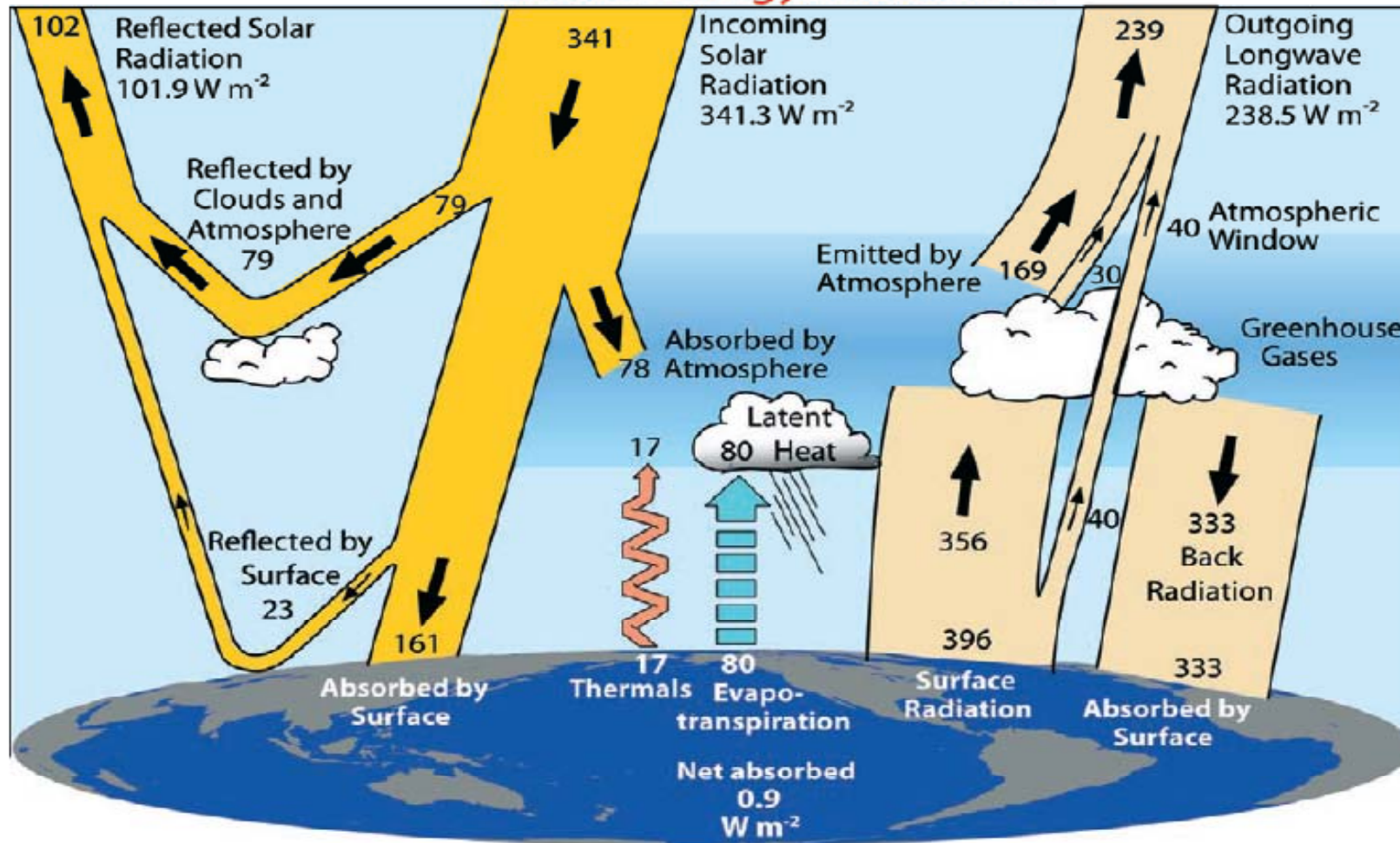
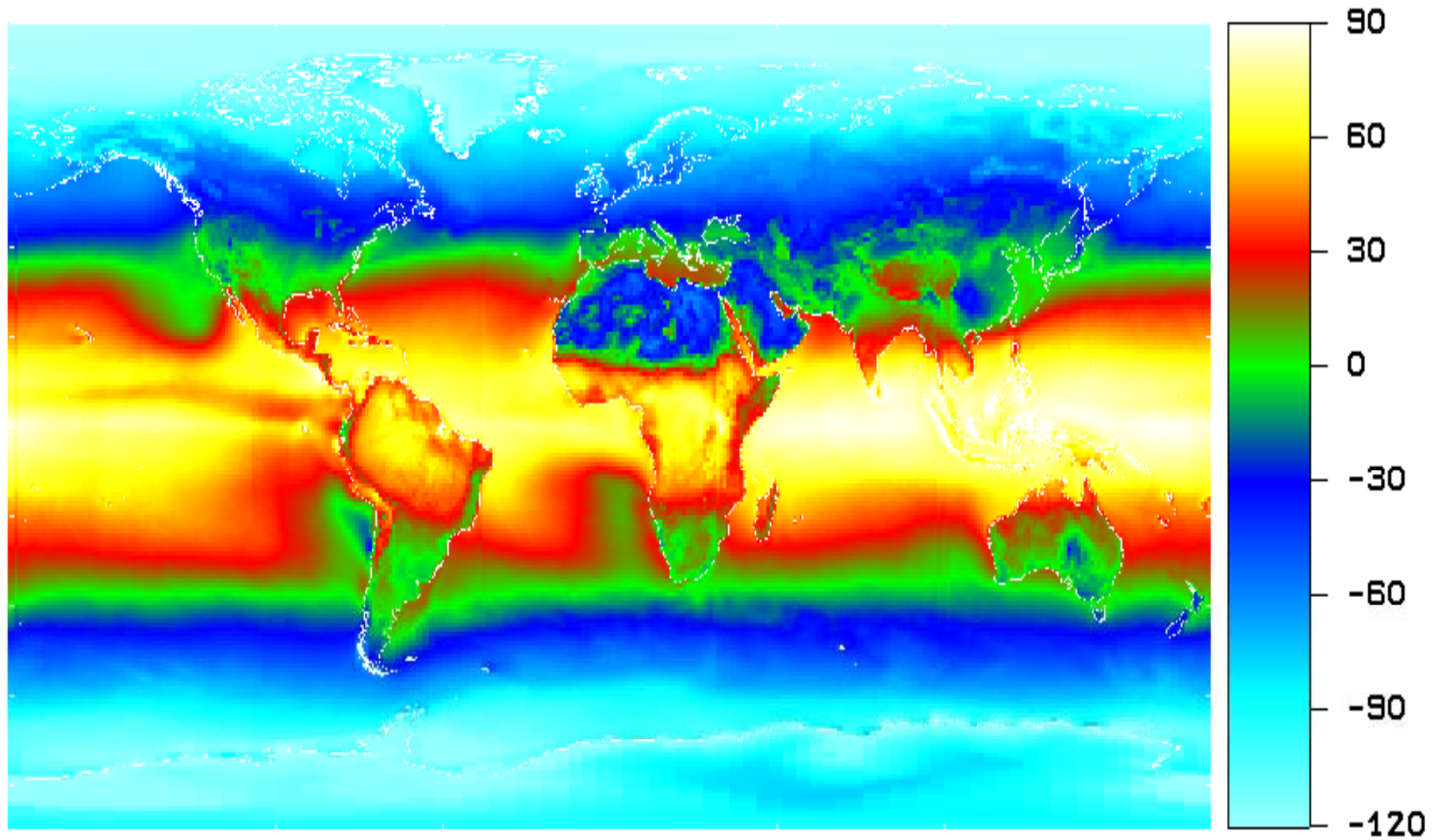


FIG. 1. The global annual mean Earth's energy budget for the Mar 2000 to May 2004 period ($W m^{-2}$). The broad arrows indicate the schematic flow of energy in proportion to their importance.

Trenberth et al., 2009

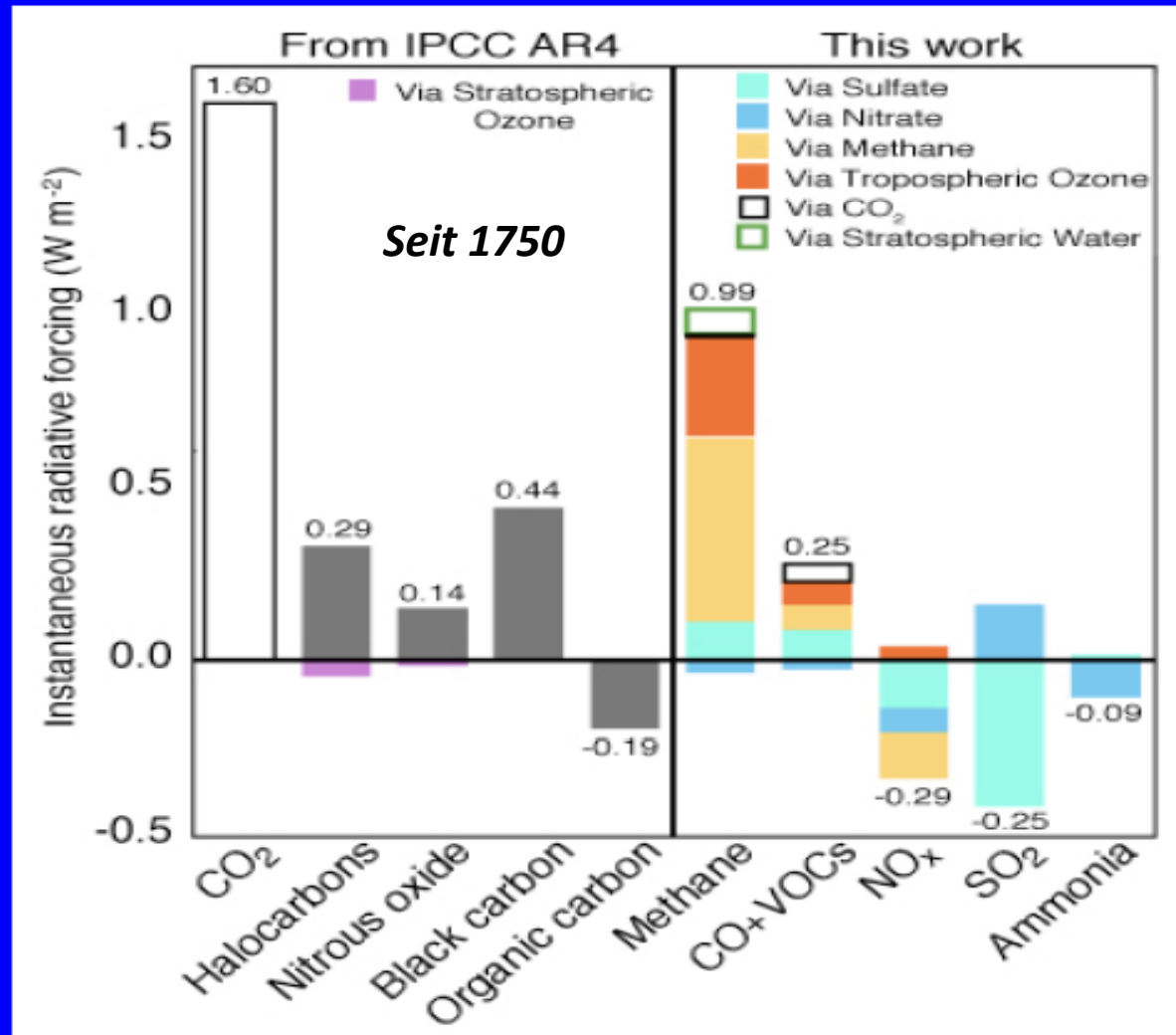
Net Radiation Budget at TOA for the CERES Period (courtesy of NASA)



Strahlungsantriebe zu globalen Klimaänderungen

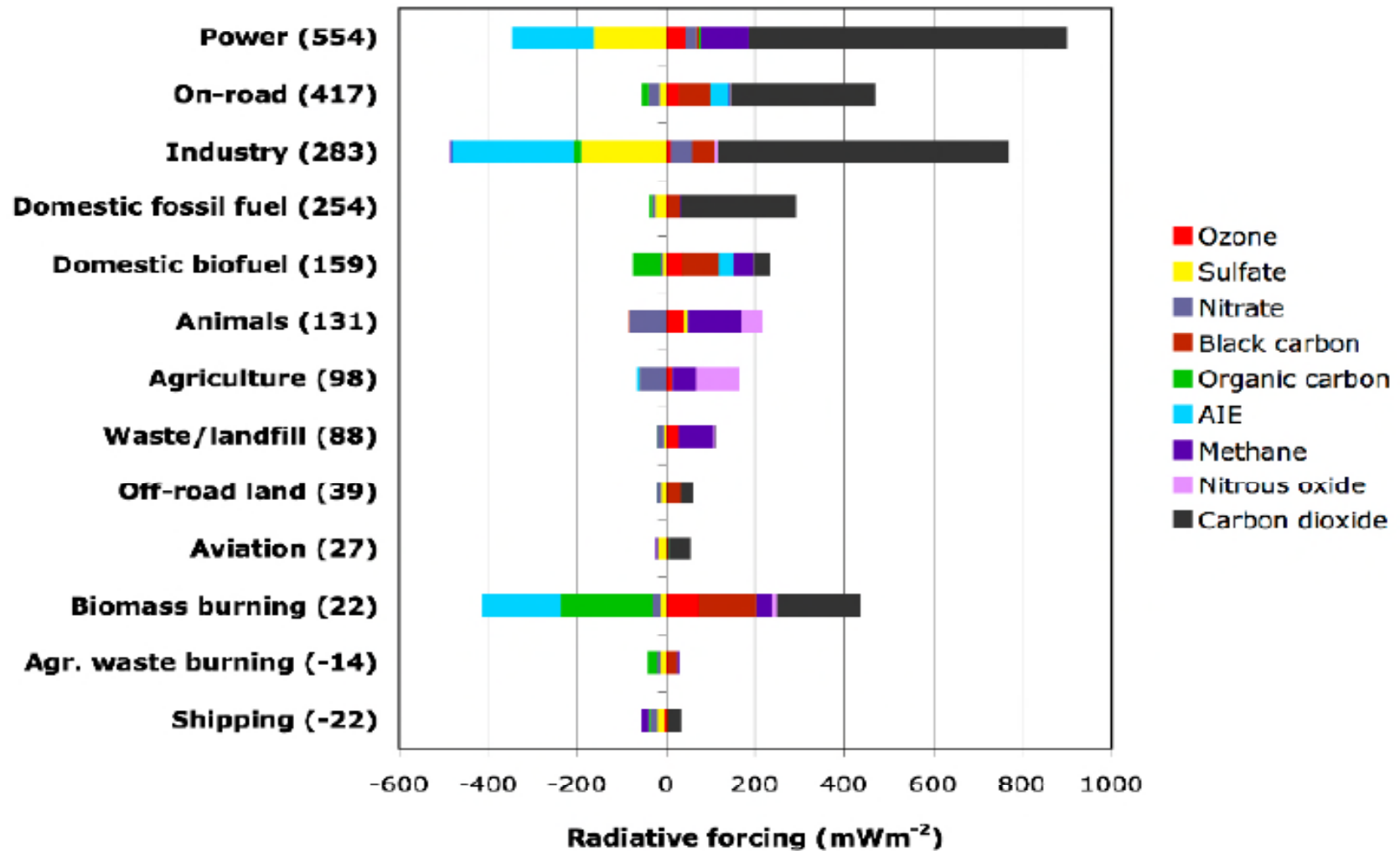
Der Strahlungsantrieb ist eine fiktive Größe aber dennoch ein gutes Maß für den Anstoß von Klimaänderungen

Historical Forcing by Emitted Species



Beiträge einzelner Sektoren zum Strahlungsantrieb und damit zu den Klimaänderungen

Forcing by sector (100-yr)



Regional radiative forcing attribution to aerosols, greenhouse gases, water vapour and clouds (1981 to 2005)

(a)

Rad. Forcing	Swiss Lowland	Swiss Alps
	[W m ⁻² dec ⁻¹]	[W m ⁻² dec ⁻¹]
SNR Total	+1.21 [-0.44 to +2.86]	+0.09 [-1.21 to +1.39]
SNR AOD	+0.85 [+0.01 to +1.66]	+0.06 [-0.81 to +0.93]
SNR Cloud	+0.36 [-0.45 to +1.20]	+0.03 [-0.40 to +0.46]

(b)

LDR Total	+2.72 [+1.10 to +4.34]	+3.21 [+1.87 to +4.55]
LDR Cloud	-0.36 [+0.45 to -1.20]	-0.03 [+0.40 to -0.46]
LDR aGHG	+0.35 [+0.30 to +0.40]	+0.35 [+0.30 to +0.40]
LDR ΔT	+2.09 [+0.84 to +3.34]	+1.07 [+0.62 to 1.50]
LDR WV	+0.64 [-0.49 to +1.80]	+1.82 [+0.55 to +3.11]

Philipona (2012): Greenhouse warming and solar brightening in and around the Alps; Int. J. of Climat. ;doi: 10.1002/joc.3531

(c)

TAF Total Atm. Forcing AOD+aGHG+WV	+1.84 [-0.18 to 3.86]	+2.23 [+0.04 to +4.44]
TNR	+1.38 [+0.10 to +2.65]	+2.00 [+0.78 to +3.22]
TAF-TNR	+0.46 [-0.28 to +1.21]	+0.23 [-0.74 to +1.22]

Conclusions

Schlussfolgerungen

- *The greenhouse effect of the Earth's atmosphere can be derived from satellite and surface observations*
- *Der Treibhauseffekt der Erdatmosphäre kann aus Satellitendaten und Beobachtungen vom Boden aus abgeleitet werden*
- *Local net solar and net terrestrial radiative forcing can also be measured now from the surface to TOA*
- *Vertikale Profile des Strahlungsantriebs von der Oberfläche bis zum Oberrand der Atmosphäre können erstmals gemessen werden*
- *We need besides the BSRN of WCRP a new network using the (Swiss) radiation budget sounding system for all major climate zones*
- *Wir benötigen neben BSRN des WCRP ein neues Messnetz für das Vertikalprofil der Strahlungsbilanz in allen Klimazonen*

Nationaler Forschungsrat der USA (2011) ***(Teil der Akademie der Wissenschaften):***

Die Erde tritt in eine neue geologische Epoche ein, auch Anthropozän genannt, während der die Entwicklung des Planeten überwiegend durch die Effekte der Aktivitäten des Menschen kontrolliert sein wird, vor allem durch die Emissionen von Kohlendioxid. Aktionen in diesem Jahrhundert bestimmen darüber, ob die Klimaanomalie des Anthropozän eine relativ kurze und kleine Abweichung vom Klima des Holozän sein wird, oder eine extreme über viele Jahrtausende.

Fourier, J-B J (1822): *Théorie analytique de la chaleur.*; Paris: Firmin Didot Père et Fils.

Fourier, J-B J (1824): *Remarques Générales sur les Températures du Globe Terrestre et des Espaces Planétaires.*; *Annales de Chimie et de Physique* 27: 136–67.

Fourier, J-B J (1827). *Mémoire Sur Les Températures Du Globe Terrestre Et Des Espaces Planétaires*; *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* 7: 569–604.