

Die Klimasensitivität existiert!

Kommentar zu **Gerhard Kramm:** **Bemerkungen zur Klimasensitivität**

Dipl.-Physiker Jochen Ebel

22. April 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung	2
2	Vollständige eMail des Autors vom 20.03.2011	3
3	Bemerkungen zur Klimasensitivität	4
4	Einbeziehung der Stratosphäre	8
5	Verzeichnisse	10
	Tabellenverzeichnis	10
	Literaturverzeichniss	11

1 Vorbemerkung

Am 22.03.2011 hat Prof. Kramm eine offene eMail verteilt (auch an Adressaten, die das ausdrücklich nicht wollten), wo er auf die eMail des Autors vom 20.03.2011 an einen Adressaten der Email-Runde eingeht (siehe Abschnitt 2 auf der nächsten Seite). Interessant ist nicht das, was Prof. Kramm zitiert hat, sondern das, was er nicht zitiert hat - weil das nämlich ganz deutlich damit zusammenhängt, daß er mit seiner eMail zeigt, daß er für Fragen der Klimasensitivität völlig inkompetent ist. Sein Anhang zur eMail (eine Kurzfassung von [Kramm und Dlugi, 2010]) enthält sowohl Richtiges als auch Falsches, wobei Prof. Kramm den Fehler macht, nur die Verhältnisse an der Oberfläche der Erde betrachten. Prof. Kramm stellt richtig fest, daß bei Betrachtung nur an der Oberfläche »die Klimasensitivität . . . zum Spekulationsobjekt verkommt«(Seite 7) – aber keiner zwingt ihn, nur die Verhältnisse an der Oberfläche zu betrachten. Der Autor des vorliegenden Papers hatte Prof. Kramm sogar früher schon darauf aufmerksam gemacht (Zitat aus der früheren eMail):

Die Lösung setzt sich aus den Änderungen der Troposphäre (für die die CO₂-Konzentration fast keine Rolle spielt) und den Änderungen der Stratosphäre (bei der die Strahlungseigenschaften der Treibhausgase die bestimmende Rolle spielen) zusammen.

Kramm stellt fest, daß man mit der Bilanz an der Oberfläche allein keine Klimasensitivität bestimmen kann – aber das »allein« geht ihm nicht auf, so daß er den weiteren Punkt (Stratosphäre) nicht erkennt oder erkennen will. Zur Bestimmung der Klimasensitivität ist eben die Betrachtung der Verhältnisse an der Oberfläche und in der Stratosphäre notwendig.

Noch etwas ist Wesentlich: Prof. Kramm verletzt wissenschaftliche Standards, nach denen in einem Paper gleiche Buchstaben für gleiche Größen stehen oder es wird extra darauf aufmerksam gemacht, daß gleiche Buchstaben für unterschiedliche Größen verwandt werden. Diese Verletzung ist nicht nur hier gemacht – auch im Ursprungspaper [Kramm und Dlugi, 2010] ist die Unterscheidung nicht immer deutlich. Daraufhin angesprochen, erwiderte Prof. Kramm, daß die Formeln ja aus verschiedenen Papern stammen, die alle die Buchstaben »a« und »b« verwenden. Wenn man zitiert, kann man zwar mit dem Formelbuchstaben des zitierten Papers arbeiten, muß dann aber auf die abweichende Bedeutung von Formelbuchstaben im zitierten Paper hinweisen – oder z. B. Indizes anhängen.

Um den Leser das Lesen leichter zu machen, ist hier die unterschiedliche Bedeutung durch Indizes kenntlich gemacht. Die Indizes stehen für:

Index	Quelle
B	[Budyko, 1969]
S	[Schneider und Mass, 1975]
N	[North, 1975]
?	beliebige bzw. ungenannte Quelle

Tabelle 1: Quellen der Indizes

Anmerkung: Alle übernommenen Texte wurden an die erweiterten Möglichkeiten von Latex angepaßt (Indizes, Literarangabe usw.). In den nächsten Absätzen sind die vollständigen Zitate mit schwarz und ergänzende Kommentare mit blau gekennzeichnet.

2 Vollständige eMail des Autors vom 20.03.2011

(Kommentare in blau)

G&T in der eMail steht für [Gerlich und Tscheuschner, 2009]. Für die Bedeutung des Hinweises der Anerkennung von Durchschnittstemperaturen ist es unerheblich, daß in [Gerlich und Tscheuschner, 2009, Abschnitte 3.7.3 und 3.7.4] diese Durchschnittstemperaturen für eine atmosphärenlose Erde berechnet wurden. Auch Prof. Kramm arbeitet mit Durchschnittstemperaturen.

Sehr geehrter Herr . . . ,

die "climate feedback equation" beschreibt die zeitliche Entwicklung der Temperatur bei Änderung irgendwelcher Größen. Ob diese Gleichung, richtig, unvollständig oder falsch ist, ist für Ihre Frage absolut ohne Bedeutung. Ihnen [...] geht es um die Änderung des weitgehend stationären Zustandes.

Und für diesen stationären Zustand haben z.B. auch G&T Durchschnittstemperaturen (siehe deren Abschnitte 3.7.3 und 3.7.4) berechnet, also gehen auch G&T davon aus, das stationäre Durchschnittstemperaturen existieren. Daß dieser Durchschnittstemperatur tägliche, jahreszeitabhängige usw. Schwankungen überlagert sind, ändert nichts an der Durchschnittstemperatur - meinetwegen auch über einen Zeitraum von 30 Jahren.

Heute ist diese Durchschnittstemperatur ca. +15°C (beispielsweise gemittelt über die die gesamte Erdoberfläche und 30 Jahre). Was Sie wissen möchten, ist die neue Durchschnittstemperatur bei unveränderter Solarstrahlung (auch wieder gemittelt über die die gesamte Erdoberfläche und 30 Jahre), wenn beispielsweise in x Jahren, der CO₂-Gehalt der Atmosphäre auf 560 ppmV (vorindustrieller Wert ca. 280 ppmV) gestiegen wäre - und die Differenz zwischen den beiden Durchschnittstemperaturen. Und dazu braucht man keine "climate feedback equation", es reichen die stationären Lösungen. Bei veränderter Solarstrahlung überlagern sich der Treibhauswirkung natürlich auch die Folgen der Änderung der Solarstrahlung.

Die Lösung setzt sich aus den Änderungen der Troposphäre (für die die CO₂-Konzentration fast keine Rolle spielt) und den Änderungen der Stratosphäre (bei der die Strahlungseigenschaften der Treibhausgase die bestimmende Rolle spielen) zusammen.

Dort wo die Strahlungseigenschaften die bestimmende Rolle spielen, ist die Strahlungsübertragungsgleichung (deren Anwendbarkeit von Kramm und G&T bestätigt wird) wichtig. Eine weiterer wichtiger Vorgang ist, unter welchen Bedingungen die Stratosphäre in die Troposphäre übergeht. Auch dafür braucht man keine "climate feedback equation".

Mit freundlichen Grüßen
Jochen Ebel

PS: Daß die Strahlungseigenschaften der Gase bestimmend sind und nicht irgendwelche Wassertröpfchen, Staub usw. geht aus der Schärfe der von den Satelliten

gemessenen Spektren hervor. Festkörper und Flüssigkeiten haben wegen der dichten Packung der Moleküle keine schmalen Absorptions-(Emissions-)linien, wie sie verdünnte Gase haben - und die schon in der unteren Troposphäre erheblich breiter werden (Druckverbreiterung).

3 Bemerkungen zur Klimasensitivität

(Kommentare in blau) – eMail-Anhang vom 22.03.2011

Gerhard Kramm

University of Alaska Fairbanks, Geophysical Institute
903 Koyukuk Drive, P.O. Box 757320, Fairbanks, AK 99775-7320, USA

In seiner e-mail vom 20. 3. 2011 behauptet Ebel folgendes:

“Heute ist diese Durchschnittstemperatur ca. +15°C (beispielsweise gemittelt über die die gesamte Erdoberfläche und 30 Jahre). Was Sie wissen möchten, ist die neue Durchschnittstemperatur bei unveränderter Solarstrahlung (auch wieder gemittelt über die die gesamte Erdoberfläche und 30 Jahre), wenn beispielsweise in x Jahren, der CO₂-Gehalt der Atmosphäre auf 560 ppmV (vorindustrieller Wert ca. 280 ppmV) gestiegen wäre - und die Differenz zwischen den beiden Durchschnittstemperaturen. Und dazu braucht man keine “climate feedback equation“, es reichen die stationären Lösungen. Bei veränderter Solarstrahlung überlagern sich der Treibhauswirkung natürlich auch die Folgen der Änderung der Solarstrahlung.“

Da diese Auffassung nicht nur von Ebel vertreten wird, ist es unumgänglich aufzuzeigen, dass diese Auffassung physikalisch unsinnig ist. Wieso? Prof. Kramm geht auch von einer Sensitivität aus – siehe Seite 6 (»Die einzige Größe, die in Gleichung (8 auf Seite 6) als näherungsweise bekannt gilt, ist ΔT_s , ...«) Um diesen Sachverhalt zu dokumentieren, soll die sog. ‚climate feedback equation‘ und alle darauf beruhenden Größen nachfolgend diskutiert werden. Die Herleitung der ‚climate feedback equation‘ folgt dabei der Darstellung von [Kramm und Dlugi, 2010].

Wie von [Kramm und Dlugi, 2010] beschrieben, lautet das global gemittelte Energiefluß-Bilanzmodell nach [Schneider und Mass, 1975]:

$$R \frac{dT_s}{dt} = (1 - \alpha_E) \frac{S}{4} - F_{IR\uparrow}(T_s) + \varepsilon_E F_{IR\downarrow} \quad (1)$$

Hierin sind R der thermische Inertialkoeffizient, t die Zeit, T_s die globale Oberflächentemperatur, $S \cong 1366 \text{ Wm}^{-2}$ die Solarkonstante, $F_{IR\uparrow}$ die Emission von terrestrischer Strahlung in Abhängigkeit von der globalen Oberflächentemperatur, $F_{IR\downarrow}$ die von der Atmosphäre bewirkte Gegenstrahlung und ε_E das planetare Emissionsvermögen. Wie später in dieser Arbeit noch hingewiesen wird, sind in der aus [Schneider und Mass, 1975] zitierten Gleichung (1) möglicherweise nicht alle Wärmeflüsse aufgeführt¹⁾, so daß die Bilanz unvollständig sein kann.

1) Nachzulesen in der Originalarbeit von [Schneider und Mass, 1975], ob diese möglicherweise unvollständige Bilanz aus Vereinfachungsgründen erfolgte (wie z.B. Einbeziehung der Flüsse von sensibler und latenter Wärme analog der Einbeziehung bei der Bestimmung empirischer Konstanten) oder Vergeßlichkeit war. Das Nachlesen ist aber nicht notwendig, da es für die für die nachfolgende Kritik unerheblich ist.

Es muß darauf hingewiesen werden, daß die Ableitung der Oberflächentemperatur nach der Zeit, die in Gleichung (1 auf der vorherigen Seite) auf der linken Seite des Gleichheitszeichen erscheint, eigentlich eine für die Deckschicht eines Aqua-Planeten (wie von [Schneider und Mass, 1975] betrachtet) räumlich gemittelte Wassertemperatur enthalten muß, denn der thermische Inertialkoeffizient, der sich aus der Wärmekapazität des Wassers und der Dicke der Deckschicht zusammensetzt, gilt selbstverständlich nicht für eine Oberflächentemperatur. Eine Oberfläche hat weder eine Dicke noch eine Wärmekapazität. Das Gleichsetzen von Oberflächentemperatur und räumlich gemittelter Wassertemperatur beruht auf der Annahme, daß diese Deckschicht gut durchmischt ist, wie von [Kramm und Dlugi, 2010] in dem Anhang ihres Artikels diskutiert. Es ist unwahrscheinlich, daß diese Annahme bei einem rotierenden Aqua-Planeten wirklich erfüllt ist. Für die Frage der Klimasensitivität ist dieser Ausflug zur linken Seite von Gleichung (1 auf der vorherigen Seite) unerheblich, da – wie später auch von Kramm erfolgt (Satz vor Gleichung (5)) – auf den stationären Zustand übergegangen wird, wo die zeitliche Änderung Null wird. Besser wäre es noch zu sagen: klein gegen alle Änderungen aus anderen Ursachen, so daß man ohne erhebliche Ungenauigkeiten, die linke Seite gleich Null setzen darf.

Zur Berechnung der effektiven Ausstrahlung, $\Delta F_{IR} = F_{IR\uparrow}(T_S) - \varepsilon_E F_{IR\downarrow}$, verwendeten [Schneider und Mass, 1975] den empirischen Ansatz von [Budyko, 1969], (Die Verwendung der Ansätze anderer Autoren ist zulässig, aber wenn man mit der Verwendung der Ansätze anderer Autoren etwas »beweisen« will, dann muß man ggf. überprüfen, ob der »Beweis« durch den Ansatz gedeckt ist.)

$$\begin{aligned} \Delta F_{IR} &= F_{IR\uparrow}(T_S) - \varepsilon_E F_{IR\downarrow} = a_B + b_B(T_S - T_r) - \{a_{1B} + b_{1B}(T_S - T_r)\} n \\ &= a_B - a_{1B}n + (b_B - b_{1B}n)T_S - (b_B - b_{1B}n)T_r \end{aligned} \quad (2)$$

wobei der Einfluß von Wolken im Infrarotbereich nicht betrachtet wurde (siehe [Schneider und Mass, 1975, Gln (4) und (5)]). In dieser Gleichung sind a_B , b_B , und a_{1B} und b_{1B} empirische Konstanten, $T_r = 273$ K eine Referenztemperatur und n der Wolkenbedeckungsgrad. Mit Anlehnung an Gleichung (1 auf der vorherigen Seite) und Gleichung (2) ergibt sich dann

$$R \frac{dT_s}{dt} = Q - \lambda T_s \quad (3)$$

wobei

$$Q = (1 - \alpha_E) \frac{S}{4} - a_S + \lambda T_r \quad (4)$$

Hierin sind Q das sog. ‚radiative forcing‘ und $\lambda = b_S$ der ‚feedback‘-Parameter. Die Größe $\beta = \lambda^{-1}$ wird auch als ‚climate sensitivity‘-Parameter bezeichnet. Dieses Modell von [Schneider und Mass, 1975] dient auch dazu, die Sensitivität des globalen Klimas zu analysieren²⁾. Die Arbeiten von [Manabe und Stouffer, 2007], [Schwartz, 2007] und anderen aus der jüngeren Vergangenheit belegen dieses. Das Energiefluß-Bilanzmodell von [Schneider und Mass, 1975] wird auch als null-dimensionales Klimamodell bezeichnet. Es ist offensichtlich, daß in diesem Modell nur Strahlungsflüsse auftreten, wobei ΔF_{IR} als lineare Funktion der global gemittelten Oberflächentemperatur erscheint.

Die Lösung der Gleichung (3) für den stationären Zustand ($dT_s/dt = 0$) lautet mit Q nach Gleichung (4)

$$T_S = \frac{1}{\lambda} \left\{ (1 - \alpha_E) \frac{S}{4} - a_S \right\} + T_r \quad (5)$$

2) Im Weiteren ist der Wolkenbedeckungsgrad n in a_S bzw. b_S implizit einbezogen.

Dieser Ausdruck wird als Lösung des ungestörten Zustandes bezeichnet. Dabei werden die Größen a_S und λ empirisch so bestimmt, daß der beobachtete Wert von T_S erreicht wird $\{a_S = (1 - \alpha_E) S/4 - (T_s - T_r) \lambda\}$. Dadurch sind auch nicht explizit genannte Größen (z. B. Flüsse von sensibler und latenter Wärme) automatisch mit einbezogen, aber auch a_S und λ hängen gegenseitig voneinander ab – und gelten nur für die verwendeten S , α_E und T_r . Folgende Werte wurden z. B. von [Kramm und Dlugi, 2010] bei ihren Berechnungen verwendet: $a_B = 226,0 \text{ Wm}^{-2}$ und $\lambda_B = 2,26 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ nach [Budyko, 1969], $a_S = 201,5 \text{ Wm}^{-2}$ und $\lambda_S = 1,45 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ nach [Schneider und Mass, 1975] sowie $a_N = 211,2 \text{ Wm}^{-2}$ und $\lambda_N = 1,55 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ nach [North, 1975] und [Kiehl, 1992]. Die Ergebnisse dieser Berechnungen rangieren zwischen 279 K und 299 K. Diese Unsicherheit ist inakzeptabel, wenn es um die Bewertung des ‚net anthropogenic radiative forcing‘, RF , geht. Diese Behauptung der Unsicherheit ist unzutreffend, denn diese Unsicherheit entsteht durch die Mischung verschiedener Ansätze. Tatsächlich ist keine Unsicherheit bei T_S (T_r wird sowieso definiert), sondern eine gewisse Unsicherheit bei a_γ und/oder λ_γ .

Vielfach wird die ‚climate sensitivity‘ zur Bewertung von RF_γ verwendet, die als Störung des Systems interpretiert wird. Die Herleitung dieser ‚climate sensitivity‘ beruht auf der ‚climate feedback equation‘ gemäß

$$Q = (1 - \alpha_E) \frac{S}{4} + RF_\gamma - a_\gamma + \lambda_\gamma T_r \quad (6)$$

Folglich lautet die Lösung der Gleichung (3 auf der vorherigen Seite) für den stationären Zustand, wenn Q nach Gleichung (6) verwendet wird:

$$T_S = \frac{1}{\lambda_\gamma} \left\{ (1 - \alpha_E) \frac{S}{4} + RF_\gamma - a_\gamma \right\} + T_r \quad (7)$$

Das bedeutet, daß sich infolge der von RF_γ bewirkten Störung die globale Oberflächentemperatur T_S erhöht. Diese Temperaturerhöhung ergibt sich unter der Voraussetzung, daß α_E , S , a_γ und λ_γ zeitlich konstant sind (diese Voraussetzungen sind für die Bestimmung der Klimasensitivität unbrauchbar, da besonders a_γ vom ganzen Atmosphärensystem abhängt. Allerdings wird voraussetzungsgemäß für die Betrachtung der Klimasensitivität α_E , S als konstant angenommen, für λ_γ wird der Mittelwert über einen gewissen Temperaturbereich genommen.), wenn man die Lösung des ungestörten Zustands von der des gestörten Zustand abzieht. Man erhält unter den für die Berechnung der Klimasensitivität unzutreffenden Voraussetzungen:

$$\Delta T_S = \frac{RF_\gamma}{\lambda_\gamma} = \beta_\gamma RF \quad (8)$$

Folgt man den Ergebnissen des MetOffice Hadley-Centre, so hat in den vergangenen 160 Jahren die globale Oberflächentemperatur um etwas weniger als 1 K zugenommen. Diese Zunahme wird auf RF_γ zurückgeführt. Die einzige Größe, die in Gleichung (8) als näherungsweise bekannt gilt, ist ΔT_S , d.h. β_γ und RF_γ sind zunächst unbekannt. Folglich sind (besser kann man) letztere zu bestimmen.

An Hand der Lösung des ungestörten Zustands ergibt sich für β_γ :

$$\beta_\gamma = \frac{T_S - T_r}{(1 - \alpha_E) \frac{S}{4} - a_\gamma} \quad (9)$$

wobei gelten muß: $a_\gamma \neq (1 - \alpha_E) S/4$. Das ist eine Forderung, die sich aus der Bestimmung von a_γ sowieso automatisch ergibt und in der Realität immer erfüllt ist. Folglich sind beide

empirische Parameter voneinander abhängig, d.h. $\beta_7 = f(a_7)$. Das bedeutet, dass man für viele Werte von a_7 ebenso viele Werte von β_7 erhält. **Und hier ist der wesentliche Mangel in Kramm's Betrachtung: Wenn man eine Gleichung erhält, die mit frei wählbaren Parametern immer erfüllt ist, dann bedeutet das, das noch eine weitere Bedingung berücksichtigt werden muß³⁾.** Damit verkommt die Klimasensitivität $\Delta T_S = \beta_7 RF_7$ zum Spekulationsobjekt – aber nur so lange, wie man keine zweite Bedingung als Einschränkung für den Wert von a_7 hat. Dieser erlaubte Wert von a_7 folgt aus den Änderungen der Stratosphäre, worauf ich in meiner eMail aufmerksam gemacht hatte – siehe Seite 2: »Die Lösung setzt ...«. Auch wenn die empirische Größe a_7 in Gleichung (8 auf der vorherigen Seite) nicht in Erscheinung tritt, so ist sie trotzdem einzubeziehen, weil zumindest ihre zeitliche Konstanz, die zur Herleitung der Gleichung (8 auf der vorherigen Seite) erfüllt sein muß, zu überprüfen ist.

Auf die Berechnung von RF_7 möchte ich hier nicht näher eingehen, weil die Formeln, die dazu verwendet werden, im Widerspruch zu physikalischen Gesetzmäßigkeiten stehen. Im Falle von CO_2 ergibt sich zum Beispiel (Die beiden Sätze stehen im Widerspruch: Entweder es »ergibt sich«, dann wäre kein »Widerspruch zu physikalischen Gesetzmäßigkeiten« oder umgekehrt. Allerdings ist die Formel nur eine empirische Näherung, da die Zunahme von RF_7 langsamer als die Zunahme der CO_2 -Konzentration erfolgt, was z. B. auch bei der ln-Funktion bei Zunahme des Arguments so ist.):

$$RF(CO_2) = C \ln \frac{[CO_2(t)]}{[CO_2(t_0)]} \quad (10)$$

Hierin sind C eine Konstante, und $[CO_2(t)]$ sowie $[CO_2(t_0)]$ sind die CO_2 -Konzentrationen in der Atmosphäre zu den Zeitpunkten (Jahren) $t = 2005$ sowie $t_0 = 1750$. Nimmt man nun an, dass die Temperaturerhöhung in den vergangenen 160 Jahren von weniger als 1 K auf RF zurückzuführen ist, dann kann durch die Wahl von a_7 ein entsprechender Wert von β_7 gemäß Gleichung (9 auf der vorherigen Seite) erzielt werden, mit dem die „Richtigkeit“ der Beziehung Gleichung (8 auf der vorherigen Seite) untermauert wird. **Man kann ein solches Vorgehen nur noch als Idiotie bezeichnen. Der richtige Begriff ist Zirkelschluß.**

Die von [Kramm und Dlugi, 2010] vorgenommenen Modellergänzungen durch das Einbeziehen der Absorption von solarer Strahlung in der Atmosphäre, $A_a S/4$, sowie der Flüsse von sensibler und latenter Wärme, H und E , die in Kap. 2 diskutiert werden, belegen, daß das Modell von [Schneider und Mass, 1975] auf einer weitgehend unvollständigen Energiefluß-Bilanzierung beruht. Unter Einbeziehen der genannten Größen ergibt sich für Q (siehe [Kramm und Dlugi, 2010, Gl. (20)])⁴⁾:

$$Q = (1 - \alpha_E - A_a) \frac{S}{4} - H - E - a_7 + b_7 T_r \quad (11)$$

Die Flüsse von sensibler und latenter Wärme zu ignorieren, wie bei [Schneider und Mass, 1975] geschehen, war aus wissenschaftlicher Sicht schon im Jahre 1975 falsch (Das muß nicht zutreffen, denn die Flüsse von sensibler und latenter Wärme können schon im Ansatz für das entsprechende enthalten a_7 sein.); denn es ist seit langem bekannt, daß diese Flüsse nicht zu vernachlässigen sind. Als Beispiel sei die Aufstellung von [Fortak, 1971] (1971!) genannt. Danach werden im globalen Mittel etwa $(1 - \alpha_E - A_a) S/4 = 164 \text{ W/m}^2$ an solarer

3) Einfachstes Beispiel für diesen Sachverhalt ist eine lineare Gleichung mit 2 Unbekannten. Je nach dem, welchen Wert man der einen Unbekannten gibt, ergeben sich für die zweite Unbekannte Werte, die von der Wahl des Wertes der ersten Unbekannten abhängen. Man braucht eine zweite Gleichung für beide Unbekannten, die von der ersten Gleichung unabhängig ist, womit ein Gleichungssystem mit 2 Gleichungen für 2 Unbekannte entsteht. Für die Lösbarkeit gibt es allerdings noch weitere Einschränkungen.

4) Aber die Einbeziehung der Flüsse von sensibler und latenter Wärme reicht auch noch nicht, um a_7 oder λ_7 zu bestimmen, wie später bestätigt wird.

Strahlung an der Erdoberfläche (richtiger im Erdboden und in der Deckschicht der Ozeane) absorbiert; die Flüsse von sensibler und latenter Wärme betragen etwa $H = 17 \text{ W/m}^2$ und $E = 77 \text{ W/m}^2$ ⁵⁾, der Netto-Strahlungsfluß im Infrarotbereich etwa $\Delta F_{IR} = F_{IR\uparrow}(T_S) - \varepsilon_E F_{IR\downarrow} = 70 \text{ W/m}^2$. Diese Werte liegen nahe bei denen, die von [Trenberth u. a., 2009] publiziert wurden (siehe [Kramm und Dlugi, 2010, Abb. 3]) und hier nochmals aufgelistet werden: $(1 - \alpha_E - A_a) S/4 = 161 \text{ W/m}^2$, $H = 17 \text{ W/m}^2$, sowie $\Delta F_{IR} = 63 \text{ W/m}^2$.

Die Lösung der Gleichung (3 auf Seite 5) für den stationären Zustand lautet mit Q nach Gleichung (11 auf der vorherigen Seite)

$$T_s = \frac{1}{\lambda} \left\{ (1 - \alpha_E - A_a) \frac{S}{4} - H - E - a_\gamma \right\} + T_r \quad (12)$$

Anmerkung: Die Größe a_γ ist eine empirische Größe. Bei dem in Gleichung (12) verwendeten a_γ kann kein a_γ verwendet werden, bei dessen Bestimmung die Flüsse von sensibler und latenter Wärme implizit mit einbezogen worden. Wenn man die Flüsse von sensibler und latenter Wärme explizit einführt, ist natürlich das entsprechende a_γ zu verwenden – was Kramm aber nicht macht, wodurch entsprechende Schlußfolgerungen falsch (oder unrealistisch) werden.

Die mit Hilfe dieser Gleichung gewonnenen Ergebnisse rangieren zwischen 178 K und 201 K und sind folglich völlig unrealistisch, weswegen die ‚climate feedback equation‘ aus physikalischen Gründen zu verwerfen ist. (Unzutreffend – zu verwerfen ist nur das Mischen von empirischen Größen aus verschiedenen Ansätzen. Wegen dieser unzulässigen Vermischung ist der nachfolgende Text teilweise zu verwerfen.) An Hand von Gleichung (12) kann ebenfalls ein β_γ bestimmt werden. Man erhält:

$$\beta_\gamma = \frac{T_S - T_r}{(1 - \alpha_E - A_a) \frac{S}{4} - H - E - a_\gamma} \quad (13)$$

wobei $a_\gamma \neq (1 - \alpha_E - A_a) S/4 - H - E$. Wiederum ist $\beta_\gamma = f(a_\gamma)$. D.h. es wird wieder eine zweite Bestimmungsgleichung gebraucht. Allerdings weichen die mit Gleichung (13) ermittelten Werte für a_γ und β_γ erheblich von den Werten ab, die sich nach Gleichung (9 auf Seite 6) ergeben(, weil eine unzulässige Vermischung verschiedener Größen benutzt wird). Setzt man nun voraus, dass nicht nur α_E , S , a_γ und λ_γ sondern auch A_a , H und E zeitlich konstant sind, so gelangt man wieder zur Gleichung (8 auf Seite 6). Folglich bleibt die Klimasensitivität $\Delta T_S = \beta_\gamma RF_\gamma$ weiterhin ein sinnloses Spekulationsobjekt, wenn man keine zweite Gleichung findet, um z. B. a_γ zu bestimmen. Diese zweite Gleichung liefern die Veränderungen an der Stratosphäre – siehe Seite 2: »Die Lösung setzt ...«. Im Zuge der Klimaänderung ändern sich auch die Flüsse von sensible und latenter Wärme nahe der Oberfläche so, daß der Temperaturgradient in der Troposphäre näherungsweise erhalten bleibt.

Der vollständige Ansatz zur Bestimmung der Klimasensitivität ist im nachfolgenden Abschnitt 4 kurz angerissen.

4 Einbeziehung der Stratosphäre

Da die Betrachtung der Verhältnisse an der Oberfläche für die Bestimmung der Klimasensitivität der Oberflächentemperatur nicht ausreicht (wie Prof. Kramm richtig schreibt), wird

5) Die Summe der drei Flüsse (164 W/m^2 , 77 W/m^2 und 17 W/m^2) ist 258 W/m^2 - also vergleichbar mit den anderen Werten, die die Flüsse von sensibler und latenter Wärme implizit enthalten.

nachfolgend eine Kurzfassung des Treibhauseffekts gegeben:

Die thermodynamischen Parameter der Luft ändern sich bei Verdopplung der CO₂-Konzentration praktisch nicht – aber die Strahlungsparameter, deren Auswirkung durch die Strahlungsübertragungsgleichung beschrieben wird, ändern sich fast gleich wie Änderungen der Treibhausgaskonzentration⁶⁾. Der wesentliche Parameter in der Strahlungsübertragungsgleichung ist die Absorptionslänge – die sich bezüglich CO₂ bei Verdopplung der Konzentration halbiert (siehe auch [Gerlich und Tscheuschner, 2009, Punkt 3.7.11]). Unter Verwendung dieser zwei Tatsachen ergibt sich das Prinzip des Treibhauseffekts und seine Änderung in wenigen Punkten:

Anmerkung: Da bei Temperaturänderungen sich das Gasvolumen ändert, ist im Nachfolgenden mit Dicke nicht die geometrische Dicke gemeint, sondern die Masse bzw. der Druckunterschied zwischen dem Unterrand einer Schicht und deren Oberrand.

1. Die Atmosphäre ist im Wesentlichen zweigeteilt: unten die konvektionsreiche Troposphäre, in der das Wetter ist und wo wir leben und oben die konvektionsarme Stratosphäre, wobei sich die Grenze zwischen beiden Sphären verschieben kann.
2. Der Temperaturgradient in der Troposphäre ist (fast) konstant – auch wenn sich die Dicke der Troposphäre ändert. Diese Konstanz ist konvektionsbedingt (thermodynamische Parameter), nahezu adiabatisch und bedingt auch die Größe der Flüsse von sensibler und latenter Wärme.
3. Die fast konstante optische Dicke einer sich ändernden Stratosphäre. Diese Konstanz ist strahlungsbedingt (Strahlungsparameter) und wird beschrieben mit der Skalierung (Maßstabsänderung) der Strahlungstransportgleichungen (deren Anwendbarkeit und Gültigkeit auch Kramm, Gerlich und Tscheuschner anerkennen) bei Änderung der optischen Dicke infolge von Konzentrationsänderungen der Treibhausgase. Dabei muß nur vorausgesetzt werden, daß die Lösungen existieren - ohne das die Lösungen explizit bekannt sein müssen. (Vor Änderung der Dicke der Stratosphäre steigt natürlich die optische Dicke bei Zunahme der Treibhausgaskonzentration.)
4. Wo der Temperaturgradient (z.B. am unteren Rand der Stratosphäre) einen bestimmten Grenzwert überschreitet, kann die Luftschichtung nicht ruhig bleiben und wird instabil = Konvektion = Kennzeichen der Troposphäre [Smith, 2001]. Durch die Skalierung verschiebt sich der Ort dieses Grenzwertes zu niedrigeren Atmosphärendrücken.
5. Im stationären Zustand (d.h. auch wenn Zeit vergeht, ändert sich der mittlere Zustand fast nicht) ist im Mittel die Wärmeabgabe der Erde genau so groß wie die Wärmeabsorption – andernfalls müßten sich die mittleren Temperaturen laufend erheblich ändern. Das aber widerspräche der Stationarität. Das bedeutet eine Zunahme der Oberflächentemperatur (mit erhöhter Strahlung durch das offene atmosphärische Fenster) und Abnahme der Stratosphärentemperatur (mit verringerter Abstrahlung ins All). Durch die langsame Steigerung der Oberflächentemperatur wegen der gebrauchten Wärmespeicherung - insbesondere der Ozeane (siehe Gleichung (1 auf Seite 4)) - ist das ein langsamer Prozess bis zum stationären Zustand.
6. Die Dicke der Stratosphäre hängt von der breitenabhängig veränderten Abstrahlung ins All ab. Deshalb ist die Stratosphäre an den Polen dicker als in den Tropen (geringere Abstrahlung = größere Dicke).

6) Dafür verwendet ... richtig [HITRAN u. a., 1998], berücksichtigt allerdings nicht, daß die Strahlungsbetrachtung weitgehend nur für den Temperaturverlauf der Stratosphäre Sinn macht. Die Strahlungsverhältnisse der Troposphäre existieren natürlich auch und bestimmen die Temperaturverhältnisse an der Erdoberfläche – Gleichung (1 auf Seite 4).

Auf der Basis der ersten 5 Punkte kann man eine Grundsensitivität der Oberflächentemperatur gegenüber Änderungen der CO₂-Konzentration berechnen – die bedeutend höher ist als beobachtet. Es kann auch sein, daß die beobachtete niedrige Sensitivität teilweise auf die langsame Einstellung des stationären Zustandes im Ozean zurückzuführen ist. Weiter kommt durch die höhere Temperatur z. B. mehr Feuchtigkeit in die Atmosphäre, daraus folgen mehr Wolken und eine Albedoänderung, die die Grundsensitivität verkleinern können (siehe z. B. n in Gleichung (2 auf Seite 5)).

Anmerkung: Die Teildrücke der CO₂-Säule an der Tropopause (Grenze zwischen Troposphäre und Stratosphäre) sind bei Venus, Erde und Mars ähnlich und liegen etwas unter 1 mbar. Das deutet darauf hin, daß

1. der Treibhauseffekt auf allen 3 Planeten ähnliche Ursachen hat und
2. das CO₂ das entscheidende Treibhausgas in der Erdatmosphäre ist.

Und noch eine

Anmerkung: Die 3 Planeten (Venus, Erde und Mars) unterscheiden sich bezüglich des Antriebsortes der Vertikalzirkulation in der Troposphäre.

- Beim Mars ist es hauptsächlich die Lufterwärmung an der Oberfläche, da die Absorption von Solarstrahlung in der dünnen Atmosphäre zu vernachlässigen ist.
- Bei der Erde kommt zur Erwärmung an der Oberfläche noch ein beträchtlicher Anteil durch Absorption von Solarstrahlung in der Troposphäre hinzu.
- Bei der Venus liegt der hauptsächlichste Antrieb am Oberrand der Troposphäre, da dort schon so viel Solarstrahlung absorbiert wird, daß kaum Solarenergie die Oberfläche erreicht.

Und noch eine

Anmerkung: Am Oberrand der Erdstratosphäre wird wegen des Vorhandenseins von Sauerstoff erheblich UV-Strahlung absorbiert. Dadurch kommt es am Oberrand der Stratosphäre zu einem Temperaturanstieg. Ohne diese »Heizung« würde die Temperatur in der ganzen Stratosphäre nur leicht abfallen bis fast konstant bleiben.

5 Verzeichnisse

Tabellenverzeichnis

1	Quellen der Indizes	2
---	-------------------------------	---

Literaturverzeichnis

- [Budyko 1969] BUDYKO, M.I.: The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth. In: *Tellus* 21 (1969), S. 611 – 619
- [Fortak 1971] FORTAK, H.: {*W. von Braun: Das Wissen der Gegenwart*}. Kap. Meteorologie, Berlin/Darmstadt/Wien: Deutsche Buch-Gemeinschaft, 1971
- [Gerlich und Tschuschner 2009] GERLICH, G. ; TSCHUSCHNER, R. D.: *Falsification of the atmospheric CO₂ Greenhouse effects within the frame of physics [Verfälschung des atmosphärischen CO₂-Treibhauseffekts im Rahmen der Physik]*. arXiv:0707.1161. 2009. – URL <http://arxiv.org/abs/0707.1161>
- [HITRAN u. a. 1998] HITRAN, L. S. Rothman u. a.: The HITRAN molecular spectroscopic database and HAWKS. In: *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 60 (1998), S. 665 – 710. – URL <http://cfa-www.harvard.edu/hitran/Download/HITRAN96.pdf>
- [Kiehl 1992] KIEHL, J.T.: {*Trenberth, K.E.: Climate System Modeling*}. Kap. Atmospheric general circulation modeling [Allgemeine atmosphärische Zirkulations-Modelle], S. 319 – 369, Cambridge University Press, Cambridge/New York, 1992
- [Kramm und Dlugi 2010] KRAMM, G. ; DLUGI, R.: On the meaning of feedback parameter, transient climate response, and the greenhouse effect: Basic considerations and the discussion of uncertainties [Zur Bedeutung der Feedback-Parameter, der Klimaantwort und dem Treibhauseffekt: Grundlegende Betrachtungen und Diskussion der Unsicherheiten]. In: *The Open Atmospheric Science Journal* 4 (2010), S. 137 – 159. – URL <http://www.benthamscience.com/open/toascj/articles/V004/137TOASCJ.pdf>
- [Manabe und Stouffer 2007] MANABE, S. ; STOFFER, R.J.: Role of ocean in global warming [Die Rolle des Ozeans bei der globalen Erwärmung]. In: *J. Meteor. Soc. Japan* 85B (2007), S. 385 – 403
- [North 1975] NORTH, G.R.: Theory of energy-balance climate models [Theorie der Energie-Bilanz Klimamodelle]. In: *J. Atmos. Sci.* 32 (1975), S. 2033 – 2045
- [Schneider und Mass 1975] SCHNEIDER, S.H. ; MASS, C.: Volcanic dust, sunspots, and temperature trends [Vulkanstaub, Sonnenspots und Temperaturtrends]. In: *Science* 190 (1975), S. 741 – 746
- [Schwartz 2007] SCHWARTZ, S.E.: Heat capacity, time constant, and sensitivity of Earth's climate system [Wärmekapazität, Zeitkonstante und Sensitivität des Klimasystems der Erde]. In: *J. Geophys. Res* 112 (2007), S. D24S05
- [Smith 2001] SMITH, Roger K.: *Thermodynamik der Atmosphäre III*. 2001. – URL http://www.meteo.physik.uni-muenchen.de/~roger/Einfuehrung_Teil_I/Teil_I_WS2001-07.pdf
- [Trenberth u. a. 2009] TRENBERTH, K.E. ; FASULLO, J.T. ; KIEHL, J.: Earth's global energy budget [Die globale Energie-Bilanz der Erde]. In: *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 90 (2009), S. 311 – 323. – URL <http://www.phys.uu.nl/~nvdelden/GlobalEnergyBudget%5B2009%5D.pdf>