

kritische Bewertung zu

„Propagation of errors and the reliability of Global Air-Temperatures“

von
Dr. Patrick Frank (SLAC)

(veröffentlicht in 'Frontiers in Earth Science', 6.9.2019)

Fazit:

Dr. Frank behauptet in seiner obengenannten Arbeit, modellgestützte Temperaturprojektionen aus vorgegebenen IPCC-Klimaszenarien würden durch riesige Unsicherheitsbereiche aussagelos. Um dies zu belegen, verwendet er zwar eine allgemein anerkannte mathematische Methode - allerdings auf der Basis fehlerhafter Voraussetzungen und einer inkorrekt verwendeten Information. Seine Behauptung hinsichtlich der Unsicherheitsbereiche ist daher nicht zutreffend.

1. Darstellung der wesentlichen Aussagen von Dr. Frank:

Im genannten Paper behauptet Dr. Frank, er könne nachweisen, dass die Berechnungen zukünftiger globaler Temperaturerhöhungen durch Klimamodelle mit so großen Unsicherheitsbereichen behaftet sind, dass sie praktisch wertlos seien. Er begründet dies mit dem unvermeidbaren statistischen Fehler bei der Bestimmung des infraroten Strahlungseffekts der Wolkenbildung, der über einhundertmal größer sei als die Temperaturerhöhungen, den diese Modelle als Folge des zunehmenden atmosphärischen CO_2 -Gehalts berechnen.

In diesem Zusammenhang muss betont, dass eine echte Vorhersage von klimatischen Mittelwerten von Temperaturen deswegen nicht möglich ist, weil diese von der unbekanntem Entwicklung der Treibhausgasemissionen abhängen, die eine direkte Folge der Aktivität des Menschen sind und nur geschätzt oder angenommen werden können. Deshalb werden für mögliche zukünftige Entwicklungen der Treibhausgasemissionen Annahmen getroffen, die in verschiedenen Szenarien zusammengefasst werden. Anstelle des Begriffs ‚Vorhersagen‘ wird deshalb der Begriff ‚Projektionen‘ benutzt für die Ergebnisse, die aus den verschiedenen Szenarien resultieren.

Die Analyse von Dr. Frank bezieht sich auf die Standardszenarien des IPCC, die veröffentlicht sind und von jedermann benutzt werden können. In diesen Szenarien werden für zukünftige Jahre die sogenannten Strahlungsantriebe vorgegeben, die aus Annahmen über die zukünftigen Treibhausgasemissionen berechnet und in der physikalischen Einheit $Watt/m^2$ angegeben werden. Die Szenarien werden u.a. dazu benutzt, die Projektionen der vielen verschiedenen existierenden Klimamodelle untereinander zu vergleichen.

Bei der Analyse der Ergebnisse der Modellvergleiche hat Dr. Frank festgestellt, dass sich die von den Modellen vorhergesagten Temperaturerhöhungen durch einen einfachen mathematischen Ausdruck annähern lassen, der die Erhöhungen gegenüber dem Startzeitpunkt der Simulationsrechnung in einfacher Weise abhängig macht von den vorgegebenen Strahlungsantrieben: Trägt man die vorgegebenen Strahlungsantriebe zusammen mit den simulierten Temperaturerhöhungen in ein Diagramm, dann liegen die sich daraus ergebenden Punkte fast genau auf einer Geraden. Das bedeutet, es gibt einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen vorgegebenem Strahlungsantrieb und resultierender simulierter Temperaturerhöhung.

Der gefundene Zusammenhang ist für jedes Modell und jedes Szenario ein klein wenig anders, doch er ist immer linear.

Da eine Gerade in einem Diagramm durch zwei Parameter beschrieben wird, müssen diese Parameter nur im Nachhinein durch eine Anpassung an die jeweiligen Daten bestimmt werden und dann lassen sich mit Hilfe des Ausdrucks von Dr. Frank die von den Modellen vorausgerechneten Temperaturerhöhungen (Temperaturprojektionen) als Funktion des Strahlungsantriebs linear annähern, ohne tatsächlich eine Klimasimulation durchführen zu müssen. Dr. Frank bezeichnet seine Methode als Emulation, weil damit die Ergebnisse der Modellrechnungen nachgeahmt werden. Er erhebt nicht den Anspruch darauf, mit dieser Emulation die Simulationsergebnisse der Modelle wirklich vorhersagen zu können, da die Modellergebnisse um die gefundene Gerade herum ein wenig streuen. Dies gilt aber nur für den Zusammenhang zwischen Temperaturerhöhung und Änderung des Strahlungsantriebes, nicht jedoch für den Zusammenhang zwischen Temperaturerhöhung und Zeit, der je nach Szenario eine komplexere Form hat.

Die Einfachheit dieses linearen Zusammenhangs benutzt Dr. Frank, um mit Hilfe eines Standardverfahrens der mathematischen Statistik Unsicherheitsbereiche für seine Temperaturemulationen zu berechnen, die wegen der guten Übereinstimmung zwischen Emulationen und Modellsimulationen auch für die von den Modellen simulierten Temperaturen übertragbar sein sollen.

Durch die Anwendung des statistischen Standardverfahrens berechnet Dr. Frank aus den jährlichen Zuwächsen im Strahlungsantrieb und der ihnen zugeordneten Unsicherheit einen Unsicherheitsbereich für die projizierten Temperaturerhöhungen, aus dem er schlussfolgert, dass eine sinnvolle Vorausberechnung der globalen Temperatur nicht möglich sei.

2. Bewertung der Emulation der Temperaturprojektionen:

Der Befund von Dr. Frank hinsichtlich der Güte seiner Emulation ist tatsächlich keine Überraschung, sondern kann so erwartet werden. Ein näherungsweise linearer Zusammenhang zwischen Strahlungsantrieben und Temperaturerhöhungen ergibt sich aus den einfachsten Überlegungen zur irdischen Energiebilanz, wonach die Erde im Mittel nicht mehr oder weniger Energie ins All abgeben kann, als sie von der Sonne empfängt. Diese Überlegung kann man als das einfachste denkbare Klimamodell in Null räumlichen Dimensionen bezeichnen, weil es durch die Berechnung einer einzigen Zahl (Temperaturerhöhung in Folge des Strahlungsantriebs durch ansteigende Treibhauskonzentrationen) gekennzeichnet ist. Um zu dieser Erkenntnis zu gelangen, bräuchte es auch keine komplexen Klimamodelle in 3 Dimensionen, sondern man könnte sich mit einfachen Kalkulationen zur Energiebilanz in Gegenwart erhöhter Treibhausgaskonzentrationen begnügen. Tatsächlich stammen die ersten Abschätzungen zu den Wirkungen einer CO_2 -Steigerung auf die globalen Temperaturen auch aus Zeiten, als es noch keine globalen Zirkulationsmodelle gab.

Wozu benötigt man dann die komplexen 3-dimensionalen Klimamodelle?

Sie sind eine Folge der Notwendigkeit zur Untersuchung regionaler Auswirkungen klimatischer Veränderungen und auch der Frage, welche Rolle der Wasserdampf in einer Welt mit anwachsendem CO_2 -Gehalt spielt. Wasserdampf ist neben CO_2 das wichtigste Treibhausgas, hat aber die Eigenschaft, sowohl verstärkend als auch abschwächend wirken zu können. Die verstärkende Wirkung tritt bei klarer Atmosphäre durch den gasförmigen Wasserdampf ein, wohingegen die abschwächende Wirkung eine Folge der Wolkenbildung ist.

Dies präziser abschätzen zu können, ist eine der Hauptmotivationen für die Entwicklung moderner Modelle.

Tatsächlich haben Modelle noch immer gewisse Schwierigkeiten, die regionale Ausprägung diverser Auswirkungen des klimatischen Geschehens präzise abzubilden. U.a. gibt es auch systematische, d.h. nicht zufällige Unterschiede z.B. des Wolkenbedeckungsgrades zwischen verschiedenen geographischen Breiten. Dennoch zeigt die lineare Emulation von Dr. Frank, dass die Unsicherheiten der Modelle auf regionaler Ebene keine Auswirkungen auf ihre Fähigkeit haben, das Anwachsen der Temperaturen auf globaler Skala korrekt vorauszuberechnen. Auch dieses Verhalten der Klimamodelle lässt sich für den Wolkenbedeckungsgrad aus physikalischen Gründen erklären: Eine Unter-/Überschätzung des Bedeckungsgrades führt zwar zu einer Unter-/Überschätzung des Strahlungsantriebs durch Wolken, die aber zugleich durch eine Über-/Unterschätzung der solaren kurzwelligen Einstrahlung ausgeglichen wird.

Die lineare Emulation von Dr. Frank zeigt, dass sich die komplexen 3-dimensionalen Modelle auf globaler Skala ganz offensichtlich wie das einfachste denkbare 0-dimensionale Klimamodell verhalten.

Dieser Befund kann – ganz entgegen der Absichten des Autors Dr. Frank - als eine Unterstützung für die Aussagekraft der globalen Zirkulationsmodelle gewertet werden, denn wenn es signifikante Fehler in ihnen gäbe, dann wäre das durch Dr. Frank festgestellte Verhalten bei der Zusammenführung der vielen regionalen Informationen in den Modellen auf die globale Ebene nicht zu beobachten gewesen.

3. Bewertung der Unsicherheiten in den Temperaturprojektionen:

Zur Berechnung der postulierten Unsicherheiten zerlegt Dr. Frank die vorgegebenen Strahlungsantriebe in Summen aus jährlichen Zuwächsen im Strahlungsantrieb. Jedem dieser Zuwächse im Strahlungsantrieb ordnet er eine Unsicherheit zu, die er nicht selbst bestimmt, sondern einer anerkannten wissenschaftlichen Veröffentlichung entnommen hat. Der Wert dieser Unsicherheit beträgt 4W/m^2 und folgt aus Untersuchungen zur Unsicherheiten in der Modellierung von Wolkenbedeckungsgraden und wurde aus dem Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Wolkenbedeckungsgraden abgeleitet.

Der von Dr. Frank gewählte Ansatz zur Berechnung der Unsicherheiten ist aus der mathematischen Statistik wohl bekannt (Fehlerfortpflanzung). Sie wird überall dort angewendet, wo ein mittels einer Formel zu berechnendes Ergebnis von Parametern abhängt, die bei wiederholter Berechnung mit zufälligen Schwankungen behaftet sind (Zufallsprozess). Ein solcher Fall ist insbesondere dort gegeben, wo die in die Formel einzusetzenden Parameter Messgrößen sind, die sich bei wiederholter Messung innerhalb gewisser Grenzen zufällig verändern.

Wichtige Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der Fehlerfortpflanzung in der von Dr. Frank verwendeten Form sind:

- a) Die in die Formel einzusetzenden Parameter sind unabhängig voneinander;
- b) für jeden dieser Parameter lässt sich ein Unsicherheitsbereich angeben, in dem sich seine Werte bei wiederholter Anwendung der Formel zufällig ändern.

Sind diese Voraussetzungen im Fall der Emulationsgleichung von Dr. Frank erfüllt?

Um diese Frage zu beantworten, ist ein näherer Blick auf die Emulationsformel notwendig.

Wie bereits weiter oben diskutiert, ist der generelle Ansatz zur Annäherung der Temperaturprojektionen durch die lineare Emulationsformel von Dr. Frank gerechtfertigt. In diese Formel eingesetzt werden jedoch keine Messwerte, sondern für einzelne Jahre vorgegebene Strahlungsantriebe, die den IPCC-Szenarien entnommen sind. Diese Strahlungsantriebe beruhen auf Annahmen über die zukünftige Entwicklung der Treibhausgasemissionen. Da diese Strahlungsantriebe nur auf Annahmen beruhen, sind sie untereinander vollkommen unabhängig. So könnten z.B. beim Greifen von emissionsreduzierenden Maßnahmen die Strahlungsantriebe aufeinanderfolgender Jahr gleich sein oder bei einem vollständigen Verschwinden von CO_2 -Emissionen und zugleich erfolgreichen Wiederaufforstungsmaßnahmen im globalen Maßstab könnten sie sogar sinken. Die Zuordnung einer ‚typischen Schwankungsbreite‘ ist nicht möglich, da es sich hierbei nicht um wiederholte Messungen, sondern um Annahmen handelt. Somit ist Voraussetzung b) nicht erfüllt.

Die entscheidende Verletzung der oben genannten Voraussetzungen entsteht erst durch den Kardinalfehler in der Methode von Dr. Frank: Er zerlegt die vom IPCC für jedes Jahr unabhängig voneinander vorgegebenen Strahlungsantriebe nachträglich in Summen von jährlichen Zuwächsen im Strahlungsantrieb und setzt diese Summen wieder in seine Emulationsgleichung ein. Dadurch wird der Anschein erweckt, der Strahlungsantrieb im Jahr 20XY sei die Summe unabhängiger Zuwächse im Strahlungsantrieb aus den Vorjahren und diese seien mit Unsicherheiten behaftet, die sich auf zufällige Art und Weise summieren.

Er konstruiert damit eine Situation, die eine Parallele zum Gang eines Betrunkenen haben soll, dessen Schritte beim Gehen, obwohl sie im Mittel alle gleichlang sind, in ihrer Länge um diesen Mittelwert herum zufällig schwanken („random walk“) mit einer statistischen Unsicherheit, die man z.B. durch 30cm angeben kann. Beim Gang des Betrunkenen handelt es sich um einen Zufallsprozess, bei dem das Gesamtergebnis (zurückgelegte Strecke) die Folge aufeinanderfolgender Einzelzufälle (Schritte mit schwankender Länge) ist. Auf diesen Fall ließe sich die Fehlerfortpflanzung anwenden mit einer pro Schritt konstanten Unsicherheit von 30cm.

Diese Situation ist jedoch im Fall der emulierten Temperaturprojektionen aus vorgegebenen Strahlungsantrieben **nicht gegeben**, da

- a) die von Dr. Frank benutzten jährlichen Zuwächse in den Strahlungsantrieben erst **im Nachhinein** aus den vorgegebenen Antrieben durch Differenzbildung errechnet werden und somit **nicht unabhängig** voneinander sind sowie
- b) es keinen Ihnen zuordenbaren Fehler gibt, weil **den Zuwächsen** im Strahlungsantrieb **kein Zufallsprozess** zugrunde liegt.

Sämtliche auf der Fehlerfortpflanzung des Dr. Frank basierenden Schlussfolgerungen sind damit hinfällig.

Zusätzlich postuliert Dr. Frank einen Wert von $4W/m^2$ für die Unsicherheit in den Strahlungsantrieben aus Unsicherheiten in der Modellierung von Wolkenbedeckungsgraden durch Klimamodelle, doch dieser Wert hat nicht die Bedeutung, die Dr. Frank ihm dort zuweist. Er hat den Wert aus einer publizierten Untersuchung **regionaler** Unsicherheiten in der Modellierung übernommen und dieser Wert wurde in der Publikation als Maß für die **Abweichungen zwischen Modellen** eingeführt. Um eine physikalisch aussagekräftige Unsicherheit zu erhalten, ist die Angabe eines Wertes für die Unsicherheit im **globalen** Bedeckungsgrad und nicht in **regionalen** Bedeckungsgraden erforderlich, dessen Unsicherheit wesentlich geringer ist, als die angegebenen $4W/m^2$.

Das Nichtzutreffen der behaupteten Unsicherheit in der Temperaturberechnung nach dem Ansatz von Dr. Frank lässt sich noch anhand eines anderen Beispiels verdeutlichen.

Im Widerspruch zur Kernaussage seines Papers, verlässt sich auch Dr. Frank darauf, dass man in der Lage ist, den Zuwachs an Strahlungsantrieb und damit eine Temperaturerhöhung zwischen zwei Zeit-

punkten, die sich durch eine erhöhte Konzentrationen an Treibhausgasen unterscheiden, zuverlässig zu berechnen. Dies wird deutlich auf Seite 3 seiner Publikation, wo er das Jahr 1990 als Startjahr für eine Emulationsrechnung verwendet. Konkret schreibt er dort :

„The reference conditions were, projection startyear = Y0 = 1900 The start-year forcing, F0, was calculated as the sum of the forcings due to atmospheric CO₂, N₂O, and CH₄ at their year 1900 values. These are (ppmv, W/m²): 297.7, 30.47; 0.258, 1.81; 0.871, 1.03, and F0 = 33.30 W/m², respectively”. Die dort angesprochene Berechnungsmethode entstammt einer von ihm zitierten Publikation, in der auch ein mittlerer Wert für den Wolkeneffekt berücksichtigt werden. Dieser Mittelwert ist aber ein klimatologischer Mittelwert und ändert sich zwischen aufeinanderfolgenden Jahren nicht stochastisch. Der gleiche Berechnungsweg liegt auch den Strahlungsantrieben der IPCC-Szenarien zugrunde.

Er berechnet damit für das Startjahr 1990 einen Strahlungsantrieb und ermittelt den Temperaturwert für das gleiche Jahr dann über seine Emulationsgleichung. Der so ermittelte Temperaturwert hat nur eine sehr geringe Unsicherheit, weil die durch eine Gerade angepassten Temperaturwerte nur wenig um die Gerade herum streuen. Diese Unsicherheit wird vom ihm vernachlässigt.

Zusammenfassung:

- 1) Dr. Frank weist unbeabsichtigt nach, dass die globalen Zirkulationsmodelle, trotz ihrer Komplexität in 3 Dimensionen, in der Lage sind, auf globaler Skala Temperaturprojektionen zu berechnen, die physikalisch sinnvoll sind, weil sie (näherungsweise) linear von den als Eingangsgrößen verwendeten Strahlungsantrieben abhängen. Dies ist kein überraschendes Ergebnis, sondern aus physikalischen Gründen so zu erwarten. Frank benutzt dazu die Methode der Geradenanpassung, die er auf Temperaturprojektionen und Strahlungsantriebe aus IPCC-Szenarien anwendet. Er nennt diese Methode Emulation. Die Güte der Übereinstimmung der linearen Emulation mit den Modell-Projektionen bestätigt, dass bei der Überführung der regionalen Komplexität dreidimensionaler Klimamodelle auf die globale Ebene keine wirklich nennenswerten Fehler hinsichtlich der Temperatur auftreten, auch wenn regional systematische Abweichungen anderer Parameter zwischen Messung und Simulation nachgewiesen werden können.
- 2) Da Dr. Frank nicht der Physik widerspricht, widersprechen die Ergebnisse seiner linearen Emulation bereits selbst seiner Hauptaussage, wonach keine verlässlichen Temperaturprojektionen möglich seien.
- 3) Dr. Frank verwendet den Ansatz einer Fehlerfortpflanzung unabhängiger Größen um vermeintlich riesige Unsicherheitsbereiche für die Temperaturprojektionen zu erzeugen. Er zerlegt dazu die voneinander unabhängigen jährlich vorgegebenen Strahlungsantriebe in Summen **jährlicher Zuwächse**, die somit **voneinander abhängig** sind. Damit **widerspricht** seine Vorgehensweise der **Voraussetzung** für die Anwendbarkeit seiner Fehlerfortpflanzung, **der Unabhängigkeit der fortzupflanzenden Größen**. Seine Vorgehensweise muss somit als suggestiver Versuch gewertet werden, einen Zufallsprozess vorzugaukeln, der keine Entsprechung in der Realität hat. Nur ein Zufallsprozess könnte die Anwendung einer Fehlerfortpflanzungsrechnung rechtfertigen. Diese Situation ist aber nicht gegeben, da die Berechnung von Temperaturerhöhungen aus vorgegebenen Strahlungsantrieben kein Zufallsprozess ist.
- 4) Die in den Szenarien verwendeten Strahlungsantriebe werden aus vorgegebenen Treibhausgaskonzentrationen berechnet. Da hierbei auch ein mittlerer Wolkeneffekt berücksichtigt wird, ist auch für die vorgegebenen Strahlungsantriebe eine Fehlerbetrachtung angebracht. Die von Dr. Frank angegebene Unsicherheit von 4W/m² ist dafür aber nicht geeignet, denn sie hat nicht die von ihm angenommene Bedeutung. Sie entstammt einer Analyse von Unsicherheiten **regionaler** modellierter Wolkenbedeckungsgrade. Benötigt würde die Unsicherheit im mittleren **globalen Bedeckungsgrad**, die wesentlich geringer ist und auch keine von Jahr zu Jahr zufälligen Schwankungen der Antriebe sondern systematische Fehler zur Folge hätte.