Chaos & Klima – Teil 3: Chaos & Modelle

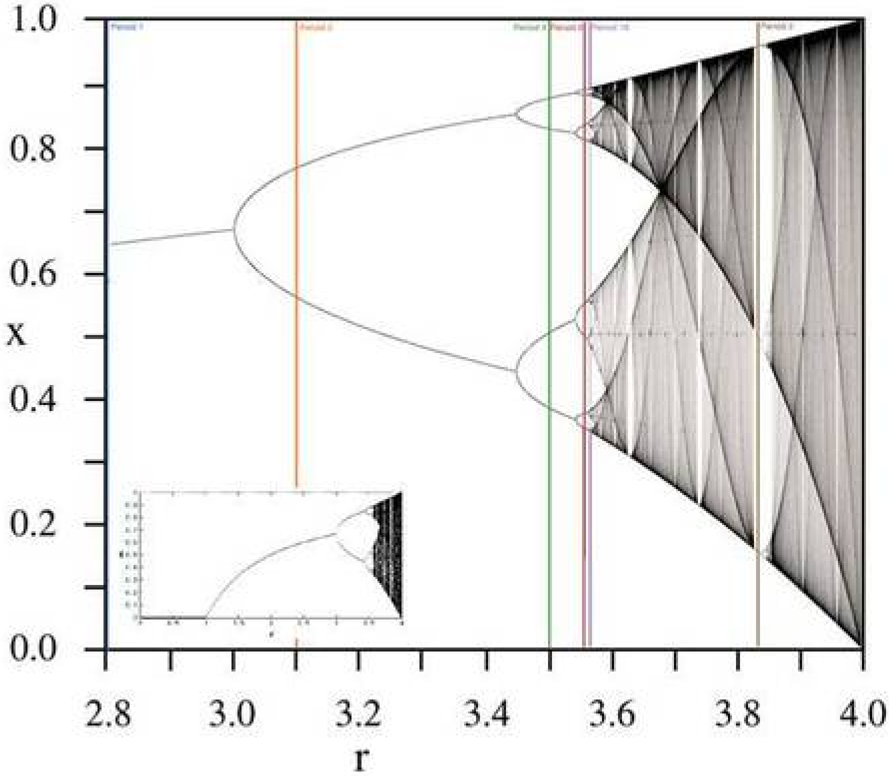
In diesem Essay geht es darum, die möglichen Verbindungen zwischen Klima und Chaos zu klären. Dies ist keine hochtechnische Diskussion, sondern eine grundlegende Einführung zu diesem Thema, um etwas zu erhellen, was das IPCC meint mit seiner Aussage „wir haben es mit einem gekoppelten, nichtlinearen und chaotischen System“ zu tun und wie dies unser Verständnis von Klima und Klimawissenschaft verändern könnte. Dies ist der Dritte Teil einer Reihe. Die anderen beiden Teile stehen hier (Teil 1) und hier (Teil 2). In diesem Beitrag geht es um Periodenverdoppelung, welche zu Chaos führt, und darum, was ***Chaos*** für die Klimamodellierung bedeutet.

Es ist wichtig, nicht zu vergessen, dass jedwede Verwendung des Wortes *Chaos* (und dessen Ableitung *chaotisch*) in diesem Essay die Absicht hat, Bedeutungen zu haben im Sinne der Chaos-Theorie, „also der Bereich in der Mathematik, der das Verhalten dynamischer Systeme zum Inhalt hat, die hoch sensitiv sind gegenüber den Ausgangsbedingungen“. Das Wort *Chaos* bedeutet hier nicht „vollständige Konfusion und Unordnung: ein Zustand, in dem Verhalten und Ereignisse durch nichts kontrolliert werden“. Vielmehr bezieht es sich hier auf dynamische Systeme, in denen „kleine Differenzen in den Ausgangsbedingungen … erheblich voneinander abweichende Ergebnisse zeitigen … mit dem Beweis, dass langfristige Prophezeiungen allgemein unmöglich sind. Dies ist sogar in deterministischen Systemen der Fall. Dies bedeutet, dass deren zukünftiges Verhalten vollständig von den Ausgangsbedingungen bestimmt wird, ohne Einbeziehung irgendwelcher zufälliger Elemente. Mit anderen Worten, die deterministische Natur dieser Systeme macht sie nicht [automatisch] vorhersagbar. Edward Lorenz nannte dies ein „scheinbar zufälliges und unvorhersagbares Verhalten, das nichtsdestotrotz präzisen und oftmals einfach zu beschreibenden Regeln folgt“. Falls man diesen wichtigen Unterschied nicht versteht, wird man das gesamte Thema völlig missverstehen. Falls Obiges nicht klar ist (was keine Überraschung wäre, ist dies doch kein einfaches Konzept), lese man zumindest den Beitrag bei Wikipedia zur Chaos-Theorie.

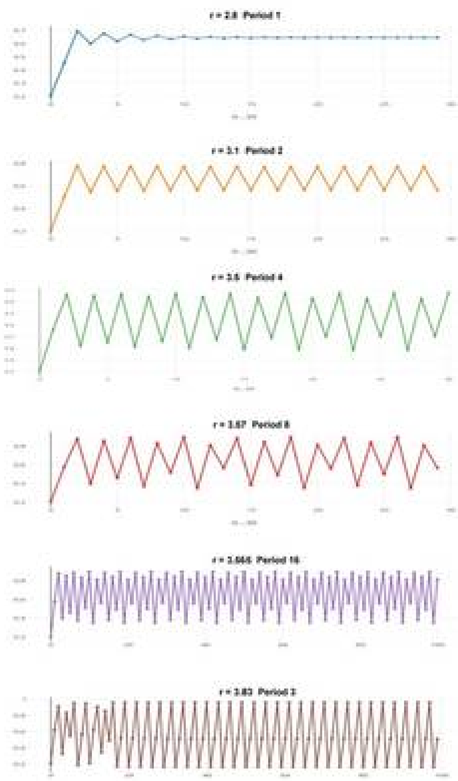
Das Problem der Periodenverdoppelung

Die klassische mathematische Formel, die die Prinzipien der Chaos-Theorie beschreibt, ist die logistische Gleichung, die ich in dieser Beitragsreihe immer wieder verwendet habe.

Der Biologe Robert May gebraucht sie als ein „demographisches Modell analog der logistischen Gleichung“ … wobei „xn eine Zahl zwischen Null und Eins ist, die das Verhältnis der bestehenden Bevölkerung zur maximal möglichen Bevölkerung repräsentiert“. Der Parameter *r* ist die *reproduktive Rate*, ausgedrückt in ganzen Zahlen. In der logistischen Karte konzentrieren wir uns auf das Intervall (0, 4). Wenn wir das tun, erzeugt es das universelle Bifurkations-Diagramm für die logistische Gleichung, oder logistische Karte, welche die Charakteristiken zeigt, wenn sich der Parameter *r* ändert:



Dem folgen Zeitreihen der Ergebnisse bei verschiedenen Werten von *r* – was mit den farbigen vertikalen Linien korrespondiert:



Für jetzt wollen wir die Bereiche ignorieren, die nahezu durchgehend mit grau bedeckt sind und uns auf die Schnittpunkte mit den farbigen Linien konzentrieren. Wir sehen, dass die Zunahme von *r* bis 3,1 eine Sägezahn-Graphik erzeugt mit einer Periode von 2. Bei 3,5 verdoppelt sich die Periode auf 4, dann rapide auf 8 und dann 16 (es gibt auch Punkte für 32 und 64 usw.). Außerdem reichen die *Magnituden*-Werte (die *x*) von einer engen Bandbreite von 20% der Einheit bei der Periode 2 bis zu kolossalen 45% der Einheit (die gesamte Bandbreite) bei Periode 4.

Falls wir die Dynamik des Windes über dem neuen Design einer Flugzeug-Tragfläche betrachten, würden wir als Erstes eine kleine unerklärliche Vibration erkennen (da der Wert unseres *r* kaum über 3 hinausgeht), gefolgt von einem definitiven Schütteln bei *r* = 3,1. Dann beobachte man, wie sich das Ding sich selbst in Stücke zerlegt, wenn *r* immer weiter zunimmt.

Einige könnten denken, dass dies irgendwie eine „Rückkopplung", ein „Rückkopplungs-Loop" oder ein „Runaway-Rückkopplungs-Loop" ist. Sie hätten unrecht. Das Ergebnis – unsere sich selbst in Stücke zerlegende arme hypothetische Flugzeug-Tragfläche – sieht sicher so ähnlich aus, aber die *Ursache* ist eine ganz andere. Dies ist ein universelles Phänomen chaotischer, nichtlinearer Systeme, repräsentiert durch das Bifurkations-Diagramm. In gewisser Weise gibt es *keine andere Ursache* als die *Natur des Systems selbst*.

Man vergesse nicht, es muss einen Grund geben für die Zunahme des Faktors *r* – aber eine Zunahme von *r* – sagen wir mal eine Verdoppelung von 1 auf 2 – führt weder zu Instabilität noch zu Chaos, sondern nur zu einer Zunahme der Magnitude von *x* (siehe das kleine eingefügte Bild im größeren Bild oben). Die Zunahme von *r* von 2 auf 2,5 hat den gleichen harmlosen Effekt, nämlich eine Zunahme der Magnitude von *x*. Die einfache Tatsache des Zunehmenden *r* führt nicht zu einer Verdoppelung der Periode selbst – sondern, wie ich in Teil 2 dieser Reihe gezeigt habe, zu Stabilität bei höheren Werten von *x* – es sei denn, der Wert von *r wird größer als 3*. An diesem Punkt beginnt der Prozess der *Perioden-Verdoppelung, was zu Chaos führt*.

(Es gibt viele nicht lineare, chaotische Systeme in der physikalischen Welt, die alle ihre eigenen Parameter und Formeln haben, und die ihre eigenen Bedingungen haben, an welchen in dem System die Perioden-Verdoppelung und damit das Chaos beginnt. Lediglich in der logistischen Gleichung ist die magische Zahl 3).

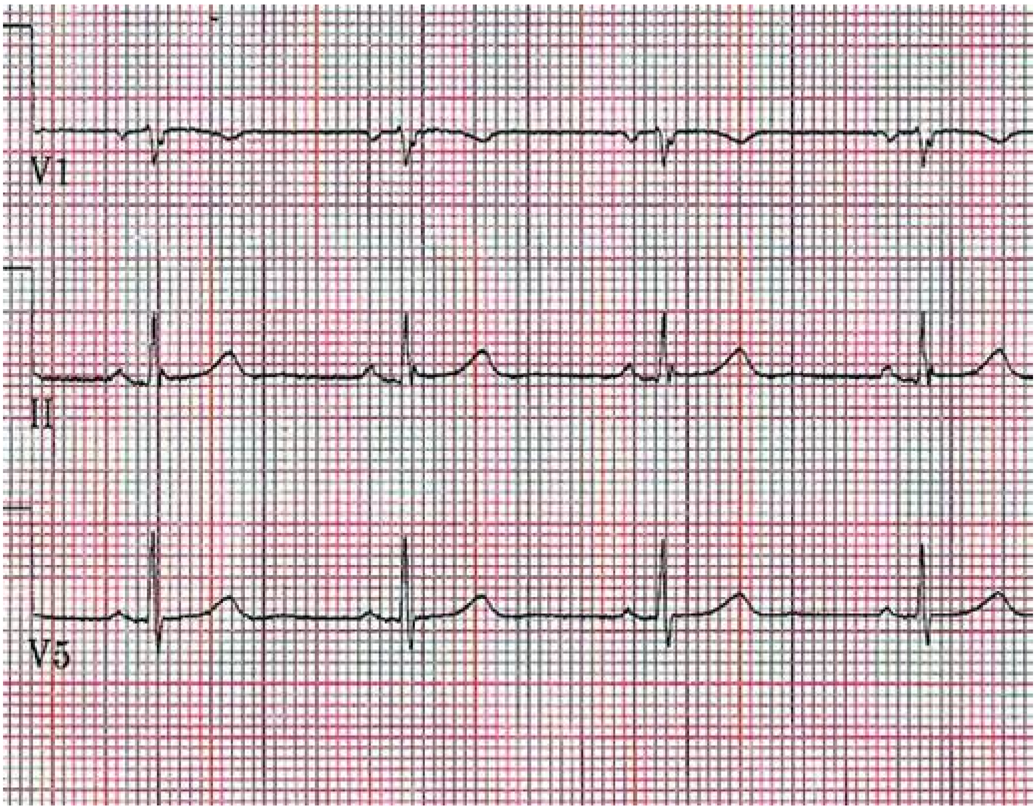
Man beachte auch die anderen ziemlich komischen Dinge hier: bei 3,8+ gibt es ein Fenster mit einer Periode 3, welches in eine Periode 6 springt, dann 12, dann 24 … die kleine Bifurkation nahe dem untersten Teil der braunen Linie bei 3,8 sieht – falls man sie vergrößert – genau so aus wie eine invertierte Version des gesamten Diagramms – ein Vorgang, dem man Selbst-Ähnlichkeit nennt, den wir aber hier nicht behandeln.

Gibt es das auch in der realen Welt? Jawohl! Boomende und vergehende Tierpopulationen, Wirtschaft (siehe eine logistische Karten für eine modifizierte Phillips-Kurve hier), in strömenden Flüssigkeiten, in den Vibrationen von Systemen in Bewegung, in unregelmäßigen Herztönen, was zu lebensbedrohenden Bedingungen führt. Sprünge der Perioden-Verdoppelung sind allgemein und können in physikalischen Systemen ziemlich destruktiv sein.

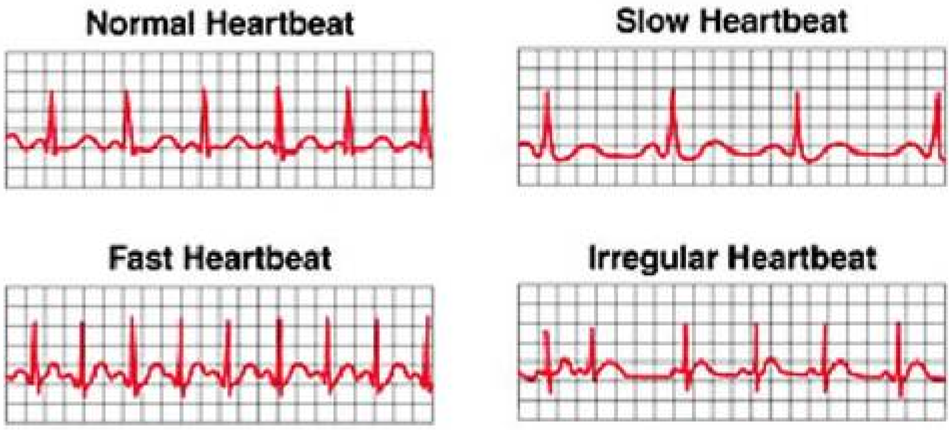
Diese Art von Phänomenen kann die Ursache sein für den Zusammenbruch der Tacoma Narrows-Brücke (1940) hier, von dem es bei Wiki heißt: „In vielen Physik-Lehrbüchern wird dieses Ereignis als ein Musterbeispiel für elementar erzwungene Resonanz angeführt, wobei der Wind eine externe periodische Frequenz zeigt, die zu der natürlich strukturierten Frequenz der Brücke passte, obwohl der tatsächliche Grund für den Zusammenbruch aeroelastisches Flattern [aeroelastic flutter] war“. Man beachte, dass der Wind nur mit etwa 40 mph [ca. 64 km/h bzw. 6 Bft] wehte.

Tacoma Narrows Bridge Collapse, in color, taken from 16MM Kodachrome motion picture film by Barney Elliott.

Herzspezialisten haben mit der Chaos-Theorie gearbeitet sowie mit der ins Chaos führenden Perioden-Verdoppelung bei der Untersuchung von Herzschlag-Unregelmäßigkeiten wie etwa *cardiac dysrhythmias, ventricular fibrillation and pulseless ventricular tachycardia*. Hier folgt ein Ausschnitt aus meinem letzten EKG, welcher die elektrischen Impulse zeigt, wenn mein Herz vier mal schlägt:



Man versicherte mir, dass es genauso aussieht wie es aussehen muss. Allerdings kann es auch schief laufen, und das passiert auch tatsächlich:



The picture above illustrates the examples of the following conditions: bradycardia (top right), tachycardia (bottom left), and arrhythmia (bottom right), as seen on an ECG. ("Interpreting ECG." Anatomy & Physiology. The Biology Corner, 2011. Web.)

Der Schnelle Herzschlag oben (Herzrasen) scheint eine Verdoppelung des Herzschlags zu sein. Shannon Lin an der UC Davis, berichtet in einer Studie mit dem Titel „*Chaos in Human Systems*", dass im Falle von Herzrhytmus-Störungen EKGs implementiert werden, um die vom Herz erzeugten elektrischen Ströme zu messen. Nach Begutachtung der Daten waren die Ärzte in der Lage, den Herzschlag mittels eines Chaos-Kontrollprogramms zu manipulieren". Weitere Details stehen *hier.*

Wenn ich sage, dass Perioden-Verdoppelungs-Bifurkationen in dynamischen Systemen universell sind, übertreibe ich nicht – man versuche es selbst mit der einfachen Suche im Internet nach ‚*images bifurcation diagram*‚. Klickt man sich durch die Ursprünge der resultierenden Bilder kann man eine Ahnung bekommen – man findet sie überall in nicht linearen, dynamischen Systemen – Biologie, Evolution, Chemie, Physik, Mathematik, Wärmefluss, strömende Flüssigkeiten, Manipulation des Herzschlags, das Studium und die Funktionen von Neuronen im Gehirn, verschiedene physikalische Oszillatoren, kartographische Erfassung und Kontrolle von Epidemien wie Masern, Sorgen von Ingenieuren hinsichtlich von Vibrationen in Strukturen und so weiter (also wirklich…).

Wie in Teil 2 dieser Reihe erklärt, wissen Ingenieure um das Chaos und führen umfangreiche Untersuchungen durch, damit ihre Systeme innerhalb der Parameter stabiler Regimes verbleiben. In einer Ingenieurs-Studie heißt es: „Chaos ist bei den meisten technischen Anwendungen unerwünscht. Viele Forscher haben sich dem Auffinden neuer Wege verschrieben, um Chaos effizienter zu unterdrücken und zu kontrollieren".

Perioden-Verdoppelung führt zu Chaos

Weiter vorn in dieser Reihe habe ich Edward Lorenz mit den Worten zitiert „Ein Phänomen, dass man später ‚Chaos' nennt – scheinbar zufälliges und unvorhersagbares Verhalten, das nichtsdestotrotz präzisen und oft sogar einfach zu formulierenden regeln folgt".

[*Einschub des Übersetzers: Ich selbst habe mich als Hobby ebenfalls mal mit der Chaos-Theorie beschäftigt. Man unterscheidet das ‚deterministische Chaos', das dennoch strikt durchweg bekannten Gesetzen folgt, wie es der Autor hier beschreibt, und das ‚absolute Chaos' wie z. B. der Flug eines Schmetterlings. Merkwürdig, dass der Autor diesen grundlegenden Unterschied hier nicht erwähnt.*

Ende Einschub]

Er verwendet den Terminus ***Chaos***, um Prozesse zu beschreiben, die „scheinbar zufällig fortschreiten, obwohl deren Verhalten strikt durch präzise Gesetze vorgegeben wird". Er weitet die Definition aus auf „Phänomene, die leicht zufällig sind, unter der Voraussetzung, dass ihre viel größere offensichtliche Zufälligkeit nicht ein Nebenprodukt ihrer leichten wahren Zufälligkeit ist. Das heißt, Prozesse in der realen Welt, die so aussehen, als ob sie zufällig ablaufen – vielleicht ein fallendes Blatt oder eine flatternde Fahne – sollten ebenfalls als Chaos gelten, solange sie weiterhin zufällig aussehen, selbst falls irgendeine wahre Zufälligkeit irgendwie eliminiert werden kann".

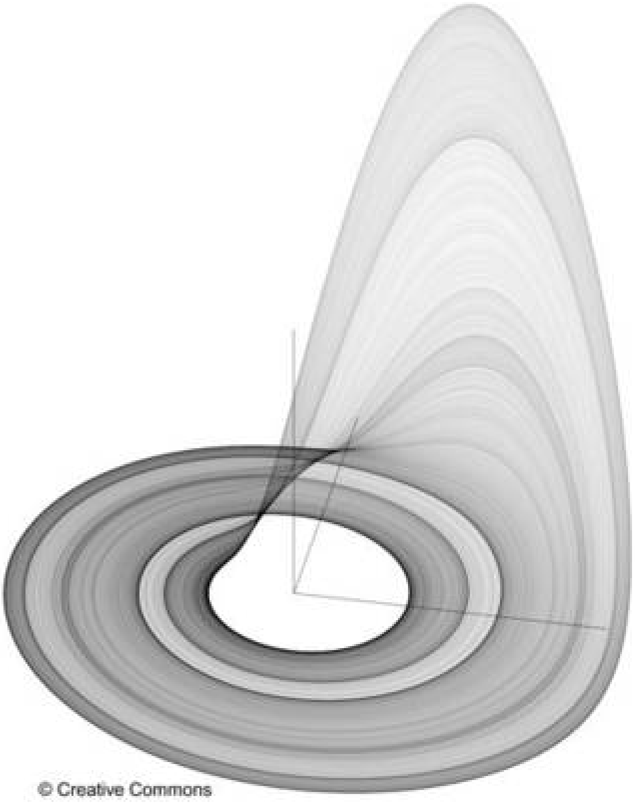
(Dieses definitorische Problem wird verschärft durch die Verwendung zahlreicher anderer Termini – Nichtlinearität, nichtlineare Dynamik, Komplexität und Fraktale – welche heute oftmals synonym verwendet werden mit *Chaos* im einen oder anderen Sinne. Und das als Clou auf der Tatsache, dass der Terminus ‚Chaos-Theorie' eine Fehlbezeichnung ist – es handelt sich nicht um eine einzelne Theorie, sondern ein weites Feld für Studien, und betrifft Systeme, die durchweg deterministisch sind).

Unser Bifurkations-Diagramm zeigt, was passiert, wenn ein nicht lineares, dynamisches System über einen bestimmten Punkt hinausgeht – seien das nun Dynamik der Population, aerodynamische Flüsse oder der Bau von Brücken. Aufeinander folgende Perioden-Verdoppelungen führen zu Chaos – scheinbar zufälligem und unvorhersagbarem Verhalten – der nahezu durchweg grau gefärbte Teil der Logistischen Graphik. In einigen chaotischen Systemen kommt es zu period halving cascades gefolgt von Stabilität, diese wiederum gefolgt von aufeinander folgenden Perioden-Verdoppelungen. Die Wahrheit ist, dass dieses Verhalten IN KEINER WEISE zufällig ist, sondern strikt deterministisch. Aber an jedwedem und an allen gegebenen Punkten in dem chaotischen Bereich sind alle zukünftigen individuellen Werte unvorhersagbar. Sie können nicht bestimmt werden, ohne sie tatsächlich zu berechnen.

Versteckt im Chaos-Regime finden sich Bereiche mit periodischem Verhalten, in perfekter Ordnung. Man beachte auch, dass die Werte von *x* eingezwängt sind – bei einem *r*-Wert von 3,7 wird *x* nicht unter 0,2 und nicht über 0,9 liegen (auf einer einheitlichen Skala). Steigt *r* jedoch über vier, kann *x* jeden beliebigen Wert annehmen, in der gesamten Bandbreite, alles oder nichts, und alles dazwischen.

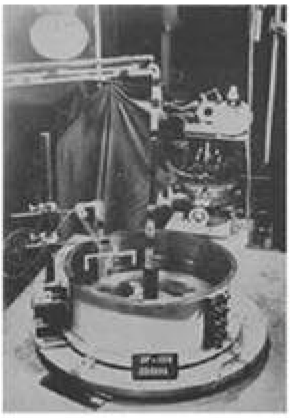
Was noch sonderbarer ist: wenn die Datenpunkte im chaotischen Bereich auf unterschiedliche Weise betrachtet werden, kann ein dynamisches System mit einem chaotischen Attraktor lokal instabil, global aber stabil sein: sind einige Sequenzen erst einmal in den Attraktor eingetreten, divergieren Nachbarpunkte voneinander, verlassen aber niemals den Attraktor. Solche unterschiedliche Betrachtungen können beispielsweise eine Zeitreihe von Differenzen der Werte zu jedem nachfolgenden Punkt sein, oder in mehreren Dimensionen. Dann zeigen sich sehr komplexe und mathematisch wunderschöne Beziehungen, Strange Attractors genannt.

Der Rössler-Attraktor ist ein Beispiel:



Der Rössler-Attraktor wurde von Otto Rössler im Jahre 1976 entworfen, „aber die ursprünglichen theoretischen Gleichungen stellten sich später als nützlich bei der Modellierung von Gleichgewicht bei chemischen Reaktionen heraus“.

Dave Fultz (1921-2002) arbeitete am berühmten Hydrodynamics Lab der University of Chicago. Dort „erdachte Dave klug und systematisch noch vor Aufkommen der numerischen Modellierung eine Anzahl von Labor-Anomalien, um Einsicht zu erlangen in viele komplexe atmosphärische Prozesse, am bedeutendsten der atmosphärischen allgemeinen Zirkulation. Seine ‚*dishpan*‚-Experimente ergaben greifbare Beispiele von anderenfalls kaum verstandenen physikalischen Prozessen“. In seiner *dishpan* [Übersetzung nach LEO: Abwaschschüssel) fand er nicht nur die atmosphärischen Prozessen innewohnende Ordnung wie etwa dem Jetstream, sondern auch Dinge, die ihn verstörten. „Für eine *organized person* ist Chaos sowohl ein Objekt der Faszination, weil es so unterschiedlich daherkommt, als auch der Besorgnis“. Raymond Hide hat in Cambridge ähnliche Arbeiten durchgeführt, wobei diese Bilder des grundlegenden *dishpan*-Apparates sowie einige von deren Ergebnissen eingingen, einschließlich eines *chaotischen* Zustandes rechts.



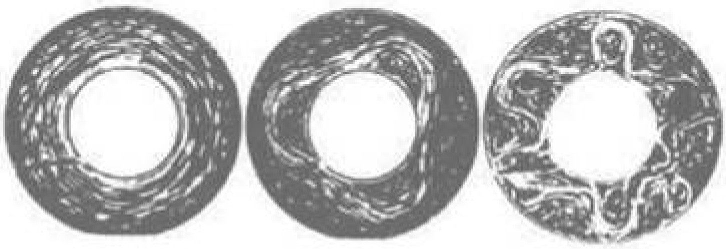


Figure 1. Streak photographs taken to illustrate three typical top-surface flow patterns, the first in the axisymmetric régime, the second in the regular non-axisymmetric régime (of 'vacillation') with M=3, and the third in the irregular ('chaotic') non-axisymmetric régime (of 'geostrophic turbulence'). The respective values of Ω were 0.34, 1.19 and 5.02 radians per second; other impressed conditions were held fixed.

Diese physikalischen Experimente wurden nahezu simultan in numerischen Modellen nachgebildet, einschließlich jenes berühmten Modells, das von Edward Lorenz entwickelt worden war.

Das Chaos-Problem in Klimamodellen

„Das Klimasystem ist ein gekoppeltes, nichtlineares chaotisches System“, und wenn jemand dieses System modelliert, besteht das Modell mathematisch aus verschiedenen Formeln für die nichtlineare Dynamik fließender Bewegungen, Wärmetransfer und so weiter.

Die Wärmetransfer-Gleichungen lauten:

The Stefan-Boltzman equation for the transfer of radiant heat in a vacuum:

$$Q = \epsilon\sigma T^4$$

For radiative transfer between two objects:

$$Q = \epsilon\sigma(T_a^4 - T_b^4)$$

Bemerkung zu Stefan-Boltzmann: „Thermische Strahlung bei Gleichgewicht wurde von Planck untersucht mittels gleichgewichts-thermodynamischer Konzepte. Die thermischen Eigenschaften des Gases aus Photonen sind bekannt. Eine davon, das Stefan-Boltzmann-Gesetz, gibt den Wert des Energieflusses mit den Termen der Temperatur des Emitters durch ein Kraftgesetz [power law]: **σ**T4. Das klassische Schema ist nicht mehr anwendbar (beispielsweise wenn die Strahlung nicht im Gleichgewicht ist infolge der Gegenwart thermischer Quellen oder Temperaturgradienten). Dann wird es notwendig, eine Nicht-Gleichgewicht-Theorie heranzuziehen. Ein erster Versuch, Nicht-Gleichgewichts-Strahlung zu beschreiben könnte durchgeführt werden mittels Nicht-Gleichgewichts-Thermodynamik. Nichtsdestotrotz sind einige der Gesetze, die das Verhalten thermischer Strahlung bestimmen, nicht lineare Gesetze, deren Ableitung jenseits des Schirmes dieser Theorie liegen, die lediglich lineare Beziehungen bietet zwischen Flüssen und Kräften". – Nonequilibrium Stefan-Boltzmann law, Pérez-Madrid_ and Rubí (2010).

Und dann ist da noch die Boltzmann'sche Transport-Gleichung [Boltzman Transport Equation (BTE)], welche das statistische Verhalten eines thermodynamischen Systems beschreibt, das sich nicht im Gleichgewicht befindet. Ein klassisches Beispiel hierfür ist eine Flüssigkeit mit Temperaturgradienten wie etwa ein Ozean oder eine Atmosphäre. Darin fließt Wärme aus wärmeren zu kälteren Gebieten. „Die BTE ist eine *nonlinear integro-differential equation*, und die unbekannte Funktion in der Gleichung ist vermutlich eine Wahrscheinlichkeits-Dichte-Funktion im sechsdimensionalen Raum mit Geschwindigkeit und Lage eines Partikels. Das Problem der Existenz und Einheitlichkeit von Lösungen ist immer noch nicht vollständig gelöst, aber einige Ergebnisse aus jüngster Zeit sind vielversprechend. „Das Ausformulieren der Formel wird uns hier nicht erleuchten. Allerdings weise ich darauf hin, dass die Gleichung eine nichtlineare stochastische partielle Differentialgleichung ist, weil die unbekannte Funktion in der Gleichung eine kontinuierliche Zufallsvariable ist. (In einem stochastischen Prozess gibt es einige Unbestimmtheiten: selbst wenn die Ausgangsbedingung (oder der Startpunkt) bekannt ist, gibt es viele (oftmals unendlich viele) Richtungen, in die sich der Prozess entwickeln kann).

Und was auch auf das Klima anwendbar ist: Newtons Gesetz von Abkühlung

„Konvektive Abkühlung wird manchmal beschrieben als Newtons Gesetz von Abkühlung: *Die Rate des Wärmeverlustes eines Körpers ist proportional zum Temperaturunterschied zwischen dem Körper und dessen Umgebung*".

Allerdings erfordert die Gültigkeit des Newton'schen Abkühlungsgesetzes definitionsgemäß, dass die Rate des Wärmeverlustes durch Konvektion eine lineare Funktion („proportional zu") der Temperaturdifferenz ist, die den Wärmetransport antreibt, und bei konvektiver Abkühlung ist dies manchmal nicht der Fall. Allgemein ist Konvektion nicht linear abhängig von Temperaturgradienten und in manchen Fällen sogar stark nichtlinear. In diesen Fällen ist das Newton'sche Gesetz nicht anwendbar (zusätzlicher Link).

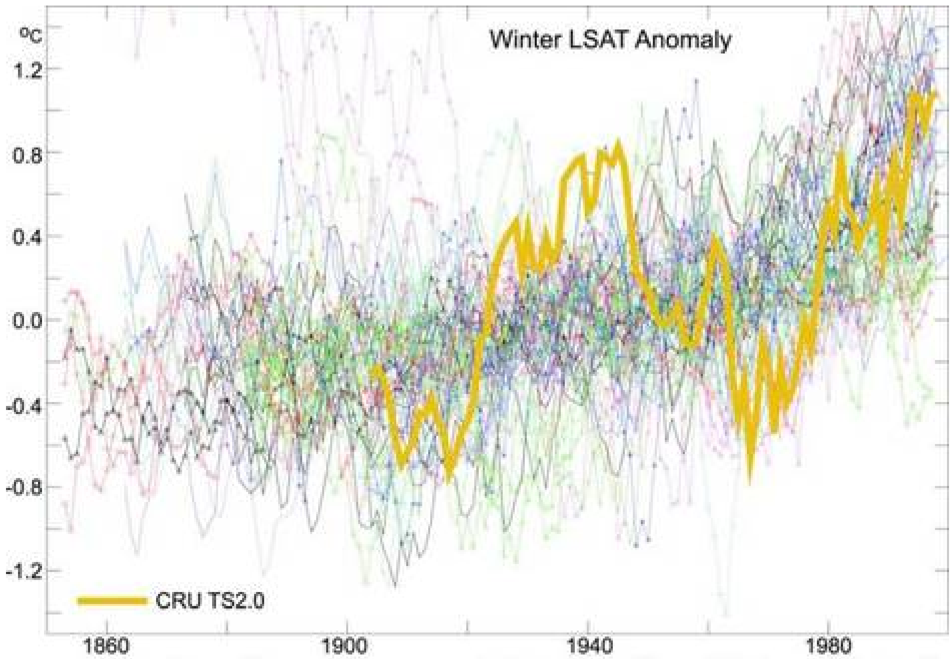
Die Navier–Stokes-Gleichungen beschreiben die Bewegung viskos flüssiger Substanzen. Sie werden zur Modellierung von Dingen wie Wetter und Ozeanströmungen herangezogen und sind nichtlineare partielle Differentialgleichungen im allgemeinen Fall und gelten daher auch für fast jede reale Situation. Die Nichtlinearität macht die meisten Probleme schwierig oder unmöglich zu lösen und ist der Hauptbeitragende zur Turbulenz, welche die Gleichungen modellieren.

Ich bin sicher, dass all jene, die diesen Blog oft besuchen, die Bedeutung dieser Formeln/Gesetze erkennen. Es kann verstörend sein zu bemerken, dass die Stefan-Boltzmann-Gleichung, das Newton'sche Abkühlungsgesetz und Navier-Stokes-Gleichungen der Dynamik von Flüssigkeiten tatsächlich nicht linear sind, sondern dort, wo die Ozeane auf die Atmosphäre treffen, allesamt in ihrer Natur und ihrem Verhalten nichtlinear sind (hier). Diese sind Teil der vielen anderen nichtlinearen dynamischen Systeme, die bei der Klimamodellierung involviert sind.

Die in der täglichen Wissenschaft verwendeten linearen Versionen, einschließlich der Klimawissenschaft, sind oftmals nichts weiter als *vereinfachte Versionen* der wirklichen Phänomene, die sie beschreiben sollen – vereinfacht, um die Nichtlinearitäten einzuschränken oder zu entfernen. In der realen Welt, der sich nicht im Gleichgewicht befindlichen Welt, verhalten sich Klimaphänomene nichtlinear im Sinne nichtlinearer dynamischer Systeme. Warum aber verwenden wir diese vereinfachten Formeln, falls sie nicht akkurat die reale Welt reflektieren? Weil die Formeln, die die reale Welt akkurat beschreiben, nichtlinear sind und viel zu schwierig – oder unmöglich – zu lösen sind – und selbst wenn sie lösbar wären, würden sie Ergebnisse zeitigen, die unter normalen Bedingungen mit einem Wort unvorhersagbar und hoch sensitiv gegenüber den Ausgangsbedingungen (hier) sind. Nicht alle Formeln können adäquat vereinfacht werden, um die Nichtlinearität zu entfernen.

Diese Beispiele sollen illustrieren, immer neu wiederholen und daran erinnern, dass viele der physikalischen Prinzipien und der mathematischen Formeln, die diese Prinzipien beschreiben, in ihrer ursprünglichen und geeigneten Form nichtlinear sind, da sie nichtlineare dynamische Systeme repräsentieren. Und diese Formeln finden Eingang in die allgemeinen Zirkulationsmodelle, die Wetter, Klima und Klimawandel vorhersagen sollen.

Das Ergebnis dieser Lage sind Modellsimulationen, die genau wie dieses Multi-Model-Ensemble der Wintertemperaturen in der Arktis aussehen, überlagert mit einer CRUT2.0-Version der gemessenen Temperaturen:



http://www.pmel.noaa.gov/pubs/outstand/wang2804/wang2804.shtml

FIG. 2. Time series of LSAT anomalies over the Arctic (60°–90°N) based on 63 realizations from 20 models investigated in their 20C3M simulations. The observed series based on CRUTS2.0 is shown by a thick orange line. The anomalies are relative to the mean of 1901–80. All curves are smoothed with 5-yr running mean, in units of °C.

Der Begleittext zeigt, dass „alle drei Läufe von einem der Modelle (violette dünne Linien mit offenen Dreiecken) mit relativ warmen Zuständen begonnen haben, im Gegensatz zu Simulationen anderer Modelle und Beobachtungen. Die Simulation von Meereis durch dieses Modell zeigt offensichtlich eine ungeeignete Initialisierung für die Simulation des Klimas im 20. Jahrhundert (Zhang and Walsh 2006). Eine andere Erklärung ist, dass sich das Modell immer noch in einem Nicht-Gleichgewichts-Zustand befindet (Y. Yu 2005, IPCC Workshop, persönliche Unterhaltung). Aus diesem Grunde werden die Ergebnisse vom FGOALS-g1.0 aus der Statistik und den Diskussionen in den folgenden Abschnitten ausgeschlossen“. Mit anderen Worten, obwohl das allgemeine Bild eines von vielen jeweiligen Läufen von 20 Modellen ist, wobei jeder Lauf klassisch nichtlineare, chaotische Ergebnisse liefert, waren die FGOALS-Läufe *so weit entfernt davon, synchron mit den Anderen zu sein*, (aus noch nicht völlig verstandenen Gründen), dass sie einfach weggeworfen werden mussten – *nicht weil es sich um ein schlechtes Modell handelt* – sondern aufgrund der grundsätzlich nichtlinearen Natur der Physik des modellierten Klimas – die Physik ist extrem sensitiv gegenüber Ausgansbedingungen, und wenn wir lediglich „die Mathematik ausführen“, ist das Ergebnis – das Chaos in ihrem Wesen – kaum eingeschränkt.

Alles in allem erkennt man, dass es eine Art eines grünlich-bläulich konzentrierten Bandes zu geben scheint, das von 1880 bis 2000 läuft mit einem Startwert bei -0,3 und endend bei +0,3, welches etwa 0,4 Grad breit aussieht. Ich habe den Verdacht, dass dies auf der Grundlage – oder ein Artefakt einer – gewissen Übereinstimmung von Parametern zwischen den Modellen beruht. Dies sollte nicht verwechselt werden mit einer übereinstimmenden Vorhersage/Projektion. Es ist in der Klimawissenschaft Standardpraxis, alle jene (Arten von) zitternden Linien (Modellergebnisse) zu „mitteln“ und das eine „Projektion“ zu nennen. Warum das absurd ist, wird deutlich, wenn man diesen Beitrag liest: *Real Science Debates Are Not Rare*, ein Gastbeitrag hier bei WUWT von Dr. Robert G. Brown im Oktober 2014.

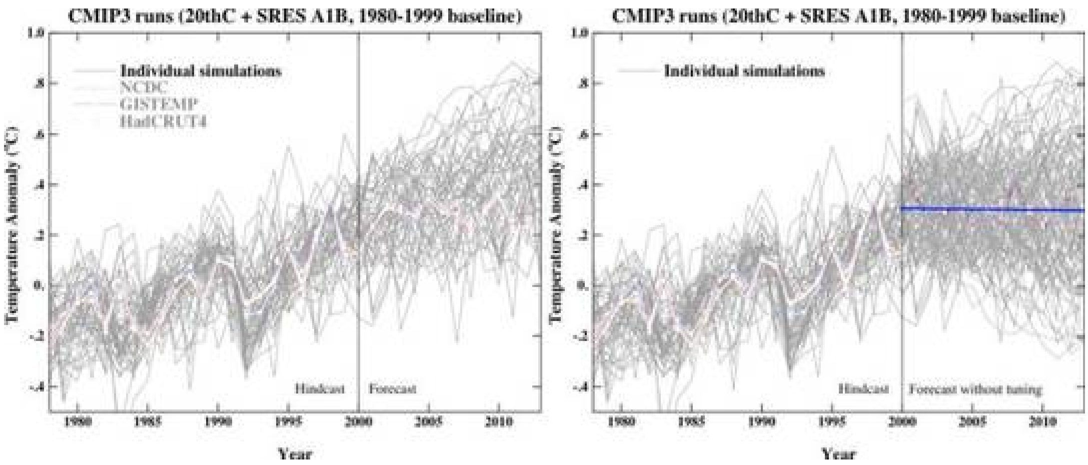
Diese Diskussion über Modelle beabsichtigt in keiner Weise, ein Angriff auf Modelle allgemein zu sein, sondern sie soll lediglich darauf hinweisen, dass die Ergebnisse derartiger Modelle der Output gekoppelter nichtlinearer chaotischer Systeme sind und folglich drastisch unterschiedliche Ergebnisse für das gleiche Problem liefern, mit den gleichen physikalischen Formeln, unter Verwendung sich geringfügig unterscheidender Modelle für das gleiche Klimasystem mit den im Wesentlichen gleichen Ausgangsbedingungen.

Die Ergebnisse des obigen Modelllauf-Ensembles „prophezeien nicht" die bekannte Vergangenheit mit irgendeinem Grad von Genauigkeit und zeigen sogar die offensichtlichen Höhen und Tiefen nicht. Der Hauptgrund hierfür ist *nicht, dass die Modelle unrichtig und unvollständig sind* – sondern dass sie *korrekt genug* sind, um zumindest Einiges der Nichtlinearität des realen Klimas zu enthalten. Folglich erzeugen sie Ergebnisse, die 1) sich wild über die gesamte Bandbreite erstrecken, abhängig von Ausgangsbedingungen, und 2) sich jedes Mal unterscheiden, wenn man sie laufen lässt mit irgendeiner anderen als *genau* der gleichen Ausgangsbedingung ohne jede Variation – beide diese Fakten sind Seiten der gleichen Medaille – Chaos.

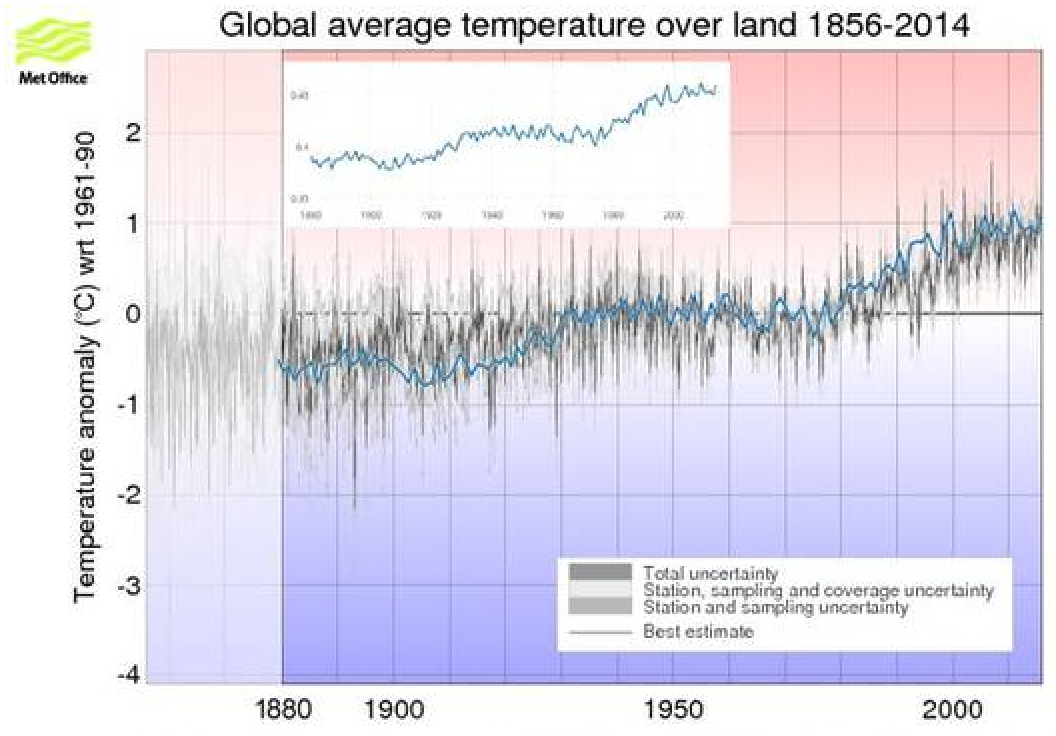
Wenn man also durch die Linse der Chaos-Theorie schaut – der Linse des Studiums nichtlinearer dynamischer Systeme – ist es nahezu unsinnig zu sagen, dass die „(Klima-")Modelle in Übereinstimmung sind.

Aber Moment, einige könnten sagen, dass ein bläulich-grünes Band und die Steigung auf der rechten Seite … uns sicher etwas sagen kann, dass die Modelle darin übereinstimmen, dass die Temperatur allgemein steigen wird und schneller steigen wird, je näher man der Gegenwart kommt. Die Antwort hierauf aus der Chaos-Theorie ist es, darauf hinzuweisen, dass den grundlegenden Gleichungen Parameter hinzugefügt worden waren, um dieses Ergebnis sicherzustellen – dass das Modell „frisiert" worden war zu „funktionieren" – Frisiert, um zumindest allgemein dieses Ergebnis zu erzeugen. Würde das Modell nämlich die Vergangenheit nicht einmal annähernd reproduzieren, die bekannten Beobachtungsdaten, würde das Modell als falsch angesehen – um aber das Modell als korrekt zu beurteilen oder es überhaupt als gerechtfertigt anzusehen, *muss* es dieses allgemeine Bild erzeugen, um mit einem Jahrhundert bekannter Beobachtungsdaten „übereinzustimmen".

Es ist dieses Frisieren, um es „passend" zur jüngsten Vergangenheit zu machen, das die Modelle darin einschränkt, mit steigendem CO2 eine Zunahme zu erzeugen – es ist einfach Teil der Formel, die verwendet wurde, um das Modell in allen Fällen zu erzeugen. In unserem Beispielbild unten wären die Modelle, wenn sie nicht Projektionen geliefert hätten, die ähnlich aussahen wie im Zeitraum 1980 bis 1999, so lange re-frisiert worden, bis sie genau dieses Ergebnis hervorbringen würden. Ohne dieses Frisieren sagt uns die Chaos-Theorie, dass die Modelle Ergebnisse liefern würden, die mehr der rechten Seite dieses Bildes ähneln, wo die Temperatur immer noch chaotisch ist, aber *wie auch immer man es dreht und wendet*, die Temperatur nicht frisiert/parametrisiert worden ist, um automatisch mit dem CO2 zu steigen. (Die blaue Linie repräsentiert die Mittellinie der Projektionen zum Jahr 2000 (dem Beginn der „Zukunft" für diese Läufe).



Ich habe in [Part 2](#) dieser Reihe gezeigt, wie einfach diese Art von Frisieren erreicht werden kann, was zu diesen beiden Bildern führt:



modified from http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/crutem4/data/web_figures/global_n+s_monthly.pngb

In der kleinen oberen Graphik, die ich innerhalb von 10 Minuten erstellt hatte, verwendete ich die einfachste aller nichtlinearen Formeln (die [logistic equation](#)), wobei ich den Antrieb (das „r" in der Formel) leicht verändert habe, so dass es minütlich zu- und abnimmt – um lediglich ein Tausendstel Grad pro Jahr, auf oder ab während verschiedener Zeiträume (wobei ich mein Modell grob an die globale mittlere Festlandstemperatur von 1856 bis 2014 angepasst habe). Zu diesem Ergebnis habe ich dann eine Hinzufügung addiert, die zufällig variiert zwischen 2 und 6 Prozent. Überlagert man meine frisierte chaotische Graphik den realen Beobachtungen, zeigt sich das *fit*. Ich beweise hier nichts bzgl. Klima, sondern nur, wie einfach, wie trivial es ist, selbst eine bekannte nichtlineare Formel so zu parametrisieren, dass ein bekannter Datensatz simuliert wird.

Wie wir sehen, ist es möglich, dass die Parameter, das Frisieren von GCMs den Haupt-Kontrollfaktor des Aussehens und der Richtung der Modellergebnisse repräsentieren kann.

Ich bin mir ziemlich sicher, dass das Frisieren/die Parametrisierung eines GCMs *viel komplexer und schwieriger ist* und außerdem – wie wir am Beispiel der Wintertemperaturen in der Arktis sehen – nicht immer erfolgreich ist.

Einige (auf der Seite der Klima-Abweichler) charakterisieren dieses Frisieren, diese Parametrisierung der Klimamodelle als eine Art des *Schummelns*. Aber das ist es nicht. Es ist einfach ein notwendiger Schritt, falls die Modelle für überhaupt etwas brauchbar sein sollen. Es ist *dieser Notwendigkeit geschuldet*, dass die wirklichen Auswirkungen einer solchen Parametrisierung vollständig bekannt gemacht werden müssen, wenn man die Ergebnisse der Modellläufe und Ensembles interpretieren will – etwas, von dem viele glauben, dass es in den derzeitigen klimawissenschaftlichen Diskussionen fehlt. Jene Bekanntmachung muss begleitet sein von der Bekanntmachung der wirklichen Bedeutung der zugrunde liegenden Nichtlinearitäten und folglich der gesamt-Limitierungen der Modelle selbst.

Einige Klimawissenschaftler, Mathematiker und Statistiker sind der Meinung, dass *es einfach nicht möglich ist*, Modelle auf der Grundlage multipler gekoppelter (voneinander abhängiger) nichtlinearer dynamischer Systeme zu verwenden, wobei jedes sehr stark von seinen eigenen Ausgangsbedingungen abhängt. Man verändere sie ein wenig und gieße bedeutsame Projektionen oder Prophezeiungen zukünftiger Klimazustände aus – oder sogar Vergangenheit oder Gegenwart. Sie fühlen, dass es sogar noch unwahrscheinlicher ist, dass die Vermengung oder Mittelung multipler Modellprojektionen Ergebnisse erzeugen kann die zu jeder Art objektiver Realität passen – vor allem der Zukunft.

Der Autor: Bevor dieser Beitrag kommentiert wird:

Erstens, ich lehne es nach wie vor ab, mich in irgendeiner Art und Weise darüber zu streiten, ob das Klima der Erde ein „gekoppeltes, nichtlineares chaotisches System“ ist oder nicht. Vielmehr biete ich die folgende Liste mit Links an, die nicht mit mir übereinstimmen und für jeden, der mehr wissen möchte über die Chaos-Theorie und deren Implikationen:

The Essence of Chaos – Edward Lorenz
Does God Play Dice ? – Ian Stewart
CHAOS: Making a New Science – James Gleick
Chaos and Fractals: New Frontiers of Science – Peitgen, Jurgens and Saupe

Additional reading suggestions at Good Reads (skip the Connie Willis novella)

Zweitens, bevor man sich darüber auslässt, wie das Klima „nicht chaotisch ist“ oder der und der Datensatz „nicht chaotisch ist“, gehe man noch einmal zurück zu den **Definitionen** zu Beginn dieses Beitrags.

…

Link: https://wattsupwiththat.com/2016/09/04/chaos-climate-part-3-chaos-models/

Übersetzt von Chris Frey EIKE