„Simple Physik“ oder „Die unerträgliche Komplexität des Klimas?“

geschrieben von Eschenbach, Jäger | 30. Januar 2010

Immer wieder lese ich Äußerungen (* man sehe z.B. hier ab Min 4:46) an verschiedenen Stellen über die Unbestreitbarkeit der „einfachen physikalischen Tatsache“, dass die von uns eingebrachte Menge von CO2 in die Atmosphäre zwangsläufig die Erde erwärmen würde. Und liest sich so:

> In der übertreibenden Sprache, die die Debatte verseucht hat, sind Forscher schon wegen Allem verdächtigt worden, angefangen damit, dass sie die Wissenschaftlichkeit aufgegeben hätten, um an einer umfassenden Verschwörung mitzumachen. Doch die Grundlagen des Treibhauseffekts beruhen auf einfacher Physik und Chemie. Sie waren etwa ein Jahrhundert lang Bestandteil des wissenschaftlichen Dialogs.

Und hier noch ein Beispiel:

> Wichtig ist, dass wir wissen, wie die Treibhausgase auf das Klima einwirken. Vor hundert Jahren hat Arrhenius das vorhergesagt. Es ist einfache Physik.

Unglücklicherweise ist die Physik einfach, das Klima bei weitem nicht. Es ist eines der komplexesten Systeme, die wir kennen. Das Klima ist ein Tera-Watt-Wärme-Maschine von planetarischem Ausmaß. Es wird angetrieben sowohl von irdischen wie von außerirdischen Kräften, von denen eine ganze Menge unbekannt ist. Viele verstehen wir kaum und/oder können sie nur schwierig messen. Es ist inhärent chaotisch und turbulent, zwei Bedingungen, für die wir wenige mathematische Werkzeuge haben.

Fünf Haupt-Subsysteme bilden das Klima: Atmosphäre, Ozeane, Kryosphäre, Lithosphäre und Biosphäre. Wir verstehen sie alle nur unvollkommen. Auf jedes dieser Subsysteme wirken bekannte und unbekannte interne und externe Kräfte, Rückkopplungen, Resonanzen und zyklische Änderungen. Dazu wirkt jedes Subsystem auf die anderen durch eine Vielzahl von bekannten und unbekannten Kräften und Rückkopplungen ein.

Dann ist da noch das Größenordnungsproblem. Entscheidend wichtige Prozesse des Klimas verlaufen physikalisch von der molekularen bis zur planetarischen Größenordnung und zeitlich vom Millisekunden- bis zum Jahrtausend-Bereich.

Das Ergebnis dieser nahezu unvorstellbaren Komplexität ist, dass die einfache Physik schlicht ungeeignet ist, um die Wirkung einer Klimaänderung vorherzusagen, wenn einer aus den vielen Hunderten von Einflussfaktoren verändert wird.
Ich möchte an zwei Beispielen erläutern, warum die einfache Physik nicht auf das Klima anwendbar ist: an einem Fluß und an einem Stahlblock. Mit einem Gedankenexperiment mit dem Stahlblock geht es los.

Nehmen wir an, ich will wissen, wie die Temperatur auf feste Körper wirkt. Ich nehme einen 75 Kg schweren Stahlblock und setze ihn mit dem Boden in einen Eimer mit heißem Wasser. In bester physikalischer Vorgehensweise befestige ich mit Klebeband ein Thermometer am oberen Ende und beginne mit der Temperaturaufzeichnung. Zunächst passiert nichts. Ich warte also. Und bald beginnt die Temperatur am oberen Teil des Stahlblock zu steigen. Das ist doch einfache Physik, nicht wahr?

Um meine Ergebnisse zu bestätigen, mache ich das Experiment mit einem Kupferblock. Ich erhalte das gleiche Ergebnis. Der nicht im Wasser befindliche Teil des Blocks fängt rasch an, sich zu erwärmen. Ich versuche es mit einem Glasblock mit gleichem Ergebnis. Meine vorläufige Schlussfolgerung ist eine Lehre der einfachen Physik: wenn ein Teil eines Festkörpers erwärmt wird, erwärmt sich der andere Teil auch.

Nun mache ich einen abschließenden Versuch. Ohne mir etwas Besonderes dabei zu denken, schießt mir durch den Kopf: Ich wiege etwa 75 Kg. Also setze ich mit den Füßen in einen Eimer mit warmem Wasser, stecke mir das Thermometer in den Mund und warte darauf, dass mein Kopf wärmer wird. Diese Versuchsanordnung ist oben in Abbildung 1 dargestellt.

Wie unser Gedankenexperiment zeigt, kann die einfache Physik nicht funktionieren, wenn es um ein komplexes System geht. Das Problem besteht darin, dass es Rückkopplungsmechanismen gibt, die den Effekt des warmen Wassers auf meine kalten Zehen unwirksam machen. Die von meinem Körper angestrebte Temperatur wird nicht von externen Kräften geregelt.

Für eine verfeinerte Sicht auf das Geschehen betrachten wir das zweite Beispiel, einen Fluss. Hier wieder ein Gedankenexperiment.

Ich nehme eine Sperrholzplatte und bedecke sie mit etwas Sand. Ich hebe sie derart hoch, dass eine schiefe Ebene zwischen den Seiten entsteht. In unserem Gedankenexperiment stellen wir uns vor, dass dies ein Hügel ist, der zum Meer hin abfällt.

Ich lege eine Stahlkugel auf die obere Seite der sandbedeckten Sperrholzplatte und beobachte, was passiert. Die Kugel rollt geradeswegs zur tiefem Seite hinunter, wie die einfache Physik uns lehrt. Mit einer Holzkugel erhalte ich das gleiche Ergebnis. Ich denke nun, dass dies eine Folge der Form des Objekts ist.

Also mache ich einen kleinen hölzernen Schlitten und setze ihn wieder auf die Platte. Und wieder rutscht er zum Meer hinunter. Ich versuche es

nun mit einem Miniatur-Stahlschlitten mit gleichem Ergebnis. Auch der rutscht direkt zum Meer hinunter. Einfache Physik, wie schon von Isaac Newton erklärt.

Als Schlußtest nehme ich einen Schlauch und lasse etwas Wasser von der oberen Seite hinunter laufen, um einen Modellfluß zu machen. Zu meiner Überraschung fängt das Wasser bald an auszuweichen, obwohl der Modellfluß gerade nach unten gerichtet beginnt. Binnen kurzem hat es einen mäandrierenden Verlauf gebildet, der sich auch noch verändert. Flußabschnitte bilden lange Schleifen, das Bett ändert sich, Schleifen werden abgeschnitten, neue bilden sich und nach einer Weile erhalten wir etwas wie dieses:

Abbildung 2. Mäander, Altwasserschleifen und tote Abwasserarme in einem Flußsystem. Man beachte das alte ursprüngliche Flußbett.

Am erstaunlichsten ist, dass der Prozeß nie aufhört. Gleichviel, wie lange wir das Flußexperiment durchführen, das Flußbett verändert sich stets. Was ist hier los?

Also, zuvörderst können wir feststellen, dass die einfache Physik in dieser Situation nicht so funktioniert, wie beim Stahlblock. Die einfache Physik lehrt, dass die Dinge geradeswegs abwärts rollen, aber das passiert hier nicht … also brauchen wir bessere Werkzeuge, um den Wasserfluß zu anaylisieren.

Gibt es mathematische Werkzeuge, um dieses System zu verstehen? Ja, aber sie sind nicht einfach. In den 1990ern gab es einen Durchbruch mit Adiran Bejans Entdeckung der Konstruktions-Morphologie. Die Konstruktions-Morphologie gilt für alle fließenden Systeme, die weit vom Gleichgewicht entfernt sind, wie ein Fluß oder das Klima.

Es zeigt sich, dass derartige Fließsysteme keine passiven Systeme sind, die jedwege Form annehmen können. Stattdessen streben sie zur Maximierung eines Aspekts des Systems. Beim Fluß wie auch beim Klima strebt das Flußsystem danach, die Summe der bewegten Energie und der durch Turbulenz verlorenen Energie zu maximieren. Zur Erklärung dieser Prinzipien siehe hier oder hier oder hier, oder hier
Es gibt auch eine Webseite, die vielen Anwendungen des Gesetzes der Konstruktions-Morphologie gewidmet ist.

Wir können einige Schlußfolgerungen aus der Anwendung des Gesetzes der Konstruktions-Morphologie ziehen:

1. Jedes weit vom Gleichgewicht entfernte Fließsystem kann nicht beliebige Form annehmen, so wie die Klimamodelle unterstellen. Stattdessen gibt es einen Zielzustand, den es zu erreichen versucht.

2. Dieser Zielzustand wird allerdings nie erreicht. Stattdessen schießt

das System ständig über diesen Zustand hinaus oder bleibt darunter, es kommt niemals in einer abschließenden Form zur Ruhe. Das System bildet sein internes Erscheinungsbild stets neu in Richtung auf seinen Zielzustand aus.

3. Die Ergebnisse der Wechsel in einem derartigen Fließsystem sind oft nicht einsichtig. Nehmen wir beispielsweise an, wir wollten den Fluss verkürzen. Die einfache Physik sagt, das wäre leicht. Also schneiden wir eine Schleife ab und das verkürzt den Fluss … aber nur kurzfristig. Bald richtet sich der Fluss neu aus, und irgendwo wird ein anderer Teil des Flusses länger. Die Länge des Flusses wird von ihm selbst bestimmt. Ganz im Gegensatz zu unseren simplizistischen Annahmen können wir die Länge des Flusses nicht durch unsere Maßnahmen verändern.

Hier sehen wir nun das Problem mit der „einfachen Physik“ und dem Klima. Die einfache Physik sagt eine einfache lineare Beziehung zwischen den Klima-Antriebskräften [climate forcings]und der Temperatur voraus. Die Leute glauben wirklich, dass eine Veränderung von X bei den Klima-Antriebskräften unweigerlich zu einer Wirkung A * X auf die Temperatur führt. Das nennt man „Klima-Sensitivität“, und das ist eine Grundannahme bei den Klima-Modellen. Das IPCC sagt, dass eine Verdoppelung des CO2 etwa zu einer Erhöhung von 3C der globalen Temperatur führt. Es gibt aber wirklich keinen Beleg für diese Annahme, nur Computer-Modelle. Die aber nehmen diese Beziehung als vorgegeben an und können daher nicht als ihr Beweis dienen.

Wie schon die Flüsse zeigen gibt es keine einfache Beziehung in einem vom Gleichgewicht weit entfernten Fließsystem. Wir können eine Schleife abschneiden, um den Fluss zu verkürzen, der aber verlängert sich dann woanders, um seine Gesamtlänge zu behalten. Anstatt sich von einer Veränderung der Antriebskräfte beeinflussen zu lassen, setzt sich das System seine eigenen Zielzustände (z. B. Länge, Temperatur, usw.), die auf natürlichen Grenzen beruhen und Fließmöglichkeiten und noch anderen Systemparametern.

Was lernen wir daraus? Das Klima ist ein vom Gleichgewicht weit entferntes Fließsystem. Es wird vom Gesetz der Konstruktions-Morphologie beherrscht. Daraus abgeleitet: es gibt keine physikalisch begründbare Annahme, dass mehr CO2 einen Unterschied für die globale Temperatur bedeutet. Das Gesetz der Konstruktions-Morphologie zeigt eher in die Denkrichtung, dass es überhaupt keinen Unterschied macht. Wie dem auch sei und unabhängig von Arrhenius, wir können nicht einfach annehmen, dass die auf einfacher Physik beruhende Beziehung zwischen CO2 und der globalen Temperatur zutrifft.

Willi Eschenbach Tuvalu

Aus dem Englischen von Helmut Jäger für EIKE. Der Originalartikel erschien hier.